ENDEAVOUR

Revue trimestrielle destinée à tenir registre du progrès
des sciences au service du genre humain

VOLUME XII Avril 1953 NUMÉRO 46

SOMMAIRE

Article de Tête: L'Archéologie, champ de coopération scientifique 59

539.16/.17:577.12:581.132.1:547.922.07
Les traceurs en biosynthèse — J. W. CORNFORTH — 61

51/53(081)
Une collection Newton — E. N. DA C. ANDRADE — 68

581.192:547.94
Les alcaloïdes dans les plantes — W. O. JAMES — 76

595.46
Quelques aspects de la biologie des scorpions — MAX VACHON — 80

54-92:541.135.27:541.182.5
Les polyélectrolytes — A. KATCHALSKY — 90

539.17:539.185.9:535.14
L'effet Szilard-Chalmers — A. G. MADDOCK — 95

577.42:591.543.1
Quelques réactions animales aux variations de température — WILMA GEORGE — 101

049.3
Revue des livres 105

Livres reçus 111

Notes biographiques sur les collaborateurs 112

Rédacteur en chef: E. J. HOLMYARD, M.A., M.Sc., D.Litt., F.R.I.C.
Rédacteur adjoint: TREVOR I. WILLIAMS, B.A., B.Sc., D.Phil.
Pour les éditions étrangères: J. A. WILCKEN, B.Sc., Ph.D.

Imperial Chemical Industries Limited, Millbank, Londres, S.W.1
Prière d'adresser toute correspondance à la rédaction, North Block, Thames House, Millbank, Londres, S.W.1

L'Archéologie, champ de coopération scientifique

Après une très longue période pendant laquelle les sciences avaient été étroitement associées, commença, il y a environ un siècle et demi, une ère où les principales branches de la science, en particulier la physique, la chimie et la biologie, firent d'étonnants progrès indépendamment les unes des autres. A telles enseignes qu'il devint même de bon ton pour un savant spécialisé dans une matière d'affecter une indifférence complète à l'égard des travaux de ses confrères dans d'autres domaines. Bien que cette attitude ne soit pas tout à fait périmée, on a pu remarquer récemment une forte tendance de la part des savants à unifier la science au lieu d'en faire un assortiment de systèmes étanches. Il n'est, bien entendu, nullement question de revenir au temps où un homme pouvait se distinguer dans tous les domaines de la science: de nos jours la somme de connaissances acquises est si vaste que c'est une tâche ardue que d'essayer d'arriver à en connaître à fond ne serait-ce qu'une petite partie. L'unification actuellement en cours se manifeste par le travail en équipes de savants diversement spécialisés et par la tendance de plus en plus accentuée de chacun à suivre les progrès accomplis dans des domaines autres que le sien pour savoir quel profit il peut en tirer à ses propres fins, et inversement, si ses propres connaissances et ses procédés pourraient être appliqués ailleurs.

Ce procédé de fusionnement est poussé beaucoup plus loin en Archéologie qu'en toute autre science: bien qu'elle possède en propre plusieurs techniques, telle que la classification systématique des caractéristiques des anciennes cultures, elle utilise nombre de techniques empruntées. L'Archéologie moderne appelle à son service des sciences aussi diverses que la Physique, la Botanique, la Géologie et la Chimie.

La pétrologie s'est révélée un auxiliare particulièrement précieux de l'Archéologie. Par exemple, l'étude de la composition de certaines haches en pierre de l'époque néolithique, trouvées dans diverses régions de la Grande-Bretagne, indique que l'atelier qui les fabriquait était situé vraisemblablement dans un certain endroit de Westmorland, le seul où pouvaient exister des affleurements de ce genre de pierre. Les recherches effectuées sur les lieux révélèrent l'existence de l'atelier exactement à l'endroit prévu. En suivant les mêmes données, d'autres anciens ateliers de fabrication de ces haches ont été repérées, ou situées théoriquement, au Pays de Galles, dans les Cornouailles et dans l'Irlande du Nord. La distribution des haches en provenance de ces ateliers apportent des renseignements précieux relativement aux anciennes artères commerciales. De même il a été prouvé que quelques-uns des grands monolithes du cercle mégalithique de Stonehenge, aux environs de Salisbury, sont originaires d'une région située à environ deux cents milles de là, au Pays de Galles.

La restauration et la conservation des objets précieux au point de vue archéologique ne sont pas d'importance moindre que les fouilles bien dirigées qui ont amené leur découverte. La Chimie a, dans ce domaine, rendu de notables services, en grande partie grâce à l'initiative de Flinders Petrie. Les travaux de celui-ci attirèrent l'attention pour la première fois lors des fouilles de la tombe de Tut-Ank-Ammon et plus tard celle de Hetep-heres, mère de Chéops. La restauration des riches trésors archéologiques du bateau-sépulcre de Sutton Hoo donne encore beaucoup de travail aux laboratoires du British Museum.

Il ne faut pas croire que l'Archéologie profite des autres sciences sans rien donner en échange: tout au contraire, elle a usé de réciprocité très largement. Les ossements d'animaux et les débris de plantes identifiables découverts par les archéologues fournissent parfois aux biologistes de nouveaux renseignements sur la distribution primitive de certaines espèces. Par exemple la récente excavation d'un emplacement datant du premier siècle dans le Yorkshire a révélé un scarabée d'une espèce que l'on ne trouve plus guère, en Angleterre, que dans le sud.

La lumière projetée par l'Archéologie sur la corrosion des métaux présente un intérêt tout particulier. Des fouilles récentes à Hungate, dans le Yorkshire, ont ramené à la surface d'anciens objets en fer, en bois et en cuir, qui se trouvaient dans un état de conservation exceptionnel; le fer notamment n'avait aucune trace de rouille, mais était revêtu d'une légère pellicule de couleur sombre (grise, noire ou bleue). L'analyse du sol avoisinant révéla la présence de phosphate et tannate en quantités inusitées, et il est maintenant évident que la conservation du fer est due à

l'action du tannate sur certaines bactéries réductrices de sulphate, qui, même présentes dans le sol, se trouvaient inactives. Les possibilités de cette découverte dans le domaine pratique sont maintenant à l'étude: il se peut qu'elle soit d'une grande portée, car en Grande-Bretagne seulement la corrosion des tuyaux de fer enfouis coûte annuellement environ cinq millions de livres sterling.

L'un des rôles essentiels de l'Archéologie est de déterminer l'époque à laquelle appartiennent les objets ramenés à la surface par les fouilles. Les témoignages indirects permettent souvent de déterminer cette époque approximativement et parfois même très exactement, mais dans bien des cas, les travaux directs sont indispensables. Fort heureusement, plusieurs techniques nouvelles ont été mises au point à cet effet.

L'une des méthodes employées pour établir l'âge de vestiges archéologiques consiste à compter les couches d'argile déposées en feuillets au fond des lacs de l'époque glaciaire. D'un point de repère à Ragunda, en Suède, et dont la date pouvait se fixer d'une manière précise à 1796 apr. J.-C., De Geer a pu remonter par une succession de feuillets jusqu'à 7912 av. J.-C.; il a atteint depuis environ 17 000 ans, mais les erreurs et les omissions contenues dans les dernières publications, qui ne mettent pas en défaut pour autant l'exactitude de la méthode, en limitent toutefois l'utilité.

De la Botanique également, l'archéologue retire une aide précieuse pour déterminer l'âge des objets découverts. Lennart von Post a démontré que les gîtes aqueux, de tourbe notamment, conservent les membranes des grains de pollen qui s'y trouvaient emprisonnés au moment de leur enfouissement. Il s'est rendu compte qu'il résulte de l'analyse de ces grains des informations relatives aux grands changements climatiques dont les dates peuvent être relevées d'après d'autres indices (voir GODWIN, A. H., *Endeavour*, **10**, 5, 1951).

La Chimie fournit une méthode de chronologie basée sur la teneur des os en fluorine, qui augmente avec l'âge par la conversion de l'hydroxyapatite en fluor-apatite au moyen du fluorine dans l'eau du sol. Grâce à cette méthode, découverte il y a plusieurs années par Carnot, on a confirmé la détermination géologique de l'époque du crâne de Swanscombe, et, inversement, réfuté la prétendue authenticité du crâne de Galley Hill.

De toutes les nouvelles méthodes élaborées pour la détermination des époques, la plus remarquable est celle qui a été mise au point il y a environ quatre ans par le Professeur W. F. Libby, de Chicago. En bref, cette méthode part du fait que tout organisme vivant contient une proportion uniforme de carbone radioactif (C^{14}) provenant sans doute du bombardement de l'azote des couches supérieures de l'atmosphère par les rayons cosmiques. Lorsque l'organisme meurt, l'équilibre entre le C^{14} du corps et le C^{14} atmosphérique, maintenu en temps normal par la respiration, est rompu. Le carbone radioactif présent dans la matière organique morte commence immédiatement à se dégrader à une cadence uniforme, correspondant à une demi-vie d'environ 5700 ans. Il en résulte que la somme de radioactivité qui demeure dans une matière telle que le charbon de bois provenant d'excavations est une indication précise de son âge. La méthode basée sur le radiocarbone nous ramène aux environs de la dernière phase de l'époque glaciaire et, dans ces limites, on peut indiquer une date à quelques siècles près, moyennant certaines précautions.

Les trois principales techniques décrites plus haut donnent leurs meilleurs résultats en ce qui concerne les millénaires venant après la dernière glaciation. Leur efficacité est à son minimum en ce qui concerne les deux plus récents millénaires, mais il est heureux que la Botanique puisse offrir encore une autre méthode, celle de la dendrochronologie, dont l'efficacité atteint son plus haut point justement pendant la période en question. Ce système fut inventé par A. E. Douglass et se fonde sur le nombre et la dimension des couches annuelles des arbres: partant d'une date déterminée, une série a été reconstituée jusqu'aux environs de l'an 400 apr. J.-C. Etant donné que quelques-uns des Séquoias géants de la Californie ont au moins 3000 ans, il serait peut-être possible de faire remonter la série encore plus loin. Une caractéristique de cette méthode est qu'elle donne la date de la coupe de l'arbre pour les objets tels que des poutres, et des chambranles de portes, à une année près. Par sa nature même la dendrochronologie est forcément soit très précise soit sans valeur. Il faut bien comprendre toutefois que cette méthode n'est applicable qu'à des pays qui ont, ou ont eu, des fluctuations annuelles de climat suffisamment sensibles pour être enregistrées dans les couches de croissance des arbres.

La saine coopération entre l'Archéologie et les autres sciences est un exemple d'une tendance générale, déjà signalée, de la science, tendance qui mérite le plus grand encouragement, car plusieurs des grandes découvertes de ces dernières années en sont le fruit.

Les traceurs en biosynthèse

J. W. CORNFORTH

On sait depuis longtemps où commence la biosynthèse et à quoi elle aboutit, mais l'étude des processus métaboliques est relativement récente: parmi les méthodes mises au point depuis peu pour cette étude la plus efficace est celle qui utilise le marquage de molécules ou d'atomes au moyen d'isotopes. Après un aperçu de la nature des isotopes en général et de la production des isotopes radioactifs, l'auteur décrit la technique du marquage et les méthodes d'analyse par «traceurs» isotopiques. Suit une description du rôle des traceurs, notamment du Carbone 14, dans l'étude de la photosynthèse et l'analyse du cholestérol, constituant de base des hormones et de la vitamine D.

La biosynthèse est l'élaboration par un organisme vivant de structures plus compliquées à partir de molécules simples. C'est seulement ces dernières années que l'étude en a progressé appréciablement, car les difficultés initiales sont presque insurmontables. La comparaison entre la composition chimique d'un animal, et sa nourriture habituelle, n'apprendra rien de plus que ce que sait déjà le fermier: le mouton change l'herbe en laine et en viande. On peut certainement aller plus loin: en soumettant quelque temps un animal à un régime dépourvu de graisse, on peut montrer qu'une partie des glucides consommés a dû se transformer en graisse. Mais ces méthodes ne disent pas grand'chose des étapes intermédiaires de la transformation; les régimes de composition déterminée ont surtout permis de découvrir les composés (vitamines, acides aminés essentiels), nécessaires à l'organisme, qui ne peut en faire la synthèse lui-même.

En 1941, Beadle et Tatum ont perfectionné cette méthode, et ouvert une voie nouvelle. On choisit un organisme — l'exemple traditionnel en est la moisissure *Neurospora* — capable de se développer dans un milieu simple, de composition chimique rigoureusement déterminée. On lui fait subir alors divers mauvais traitements — ainsi l'exposition aux rayons X — susceptibles de provoquer des mutations. On peut ainsi obtenir des mutants, héréditairement incapables de franchir certaine étape particulière de la biosynthèse d'un métabolite essentiel. Ces souches poussent normalement si le milieu de culture contient en plus soit le métabolite lui-même, soit un intermédiaire quelconque dans la série des réactions biosynthétiques, situé au-delà de l'étape bloquée génétiquement. De plus, l'intermédiaire qui précède juste l'étape bloquée s'accumule souvent dans le milieu, car l'organisme peut en faire la synthèse, mais non le transformer. Une série de mutants analogues, chacun bloqué à une étape différente d'une synthèse déterminée, permet parfois de suivre le processus synthétique dans tous ses détails. Il faut se limiter aux petites espèces, qui se développent et se reproduisent rapidement, et ne sont pas exigeantes pour leur nourriture. Naturellement, on ne peut pas prévoir *a priori* le type de mutation que l'on produira, si bien que l'isolement des nouvelles souches est un travail fastidieux. Malgré ces restrictions, on arrive à des résultats très importants.

C'est une voie d'approche toute différente que l'utilisation d'atomes et de molécules marqués. On peut considérer les travaux de Knoop (1905) comme une première tentative de ce genre. Il administra à des animaux une série d'acides synthétiques, qui se distinguaient des acides gras normaux $CH_3.(CH_2)_n.CO_2H$ par la présence d'un groupement phényle terminal:

$$C_6H_5.(CH_2)_n.CO_2H.$$

C'était ce groupement phényle, que l'organisme ne détruit pas facilement, qui jouait le rôle de marque. Lorsque n est pair, le produit final d'oxydation, excrété dans l'urine, est l'acide benzoïque, $C_6H_5.CO_2H$. Lorsque n est impair, le produit final est l'acide phénylacétique,

$$C_6H_5.CH_2.CO_2H.$$

La conclusion normale est que l'oxydation de ces acides, et apparemment, celle des acides normaux, commence sur le deuxième carbone à partir du carboxyle (le carbone β), de cette façon:

$$C_6H_5.(CH_2)_n.CO_2H \rightarrow C_6H_5.(CH_2)_{n-2}.CO_2H \rightarrow C_6H_5.(CH_2)_{n-4}.CO_2H,$$

et ainsi de suite, jusqu'à l'épuisement des carbones. Cependant, on ne peut parler strictement de

processus métabolique normal, pour la dégradation de ces acides inhabituels, et il serait bien plus difficile d'imaginer des substances modèles convenables pour la plupart des réactions biochimiques. Ce qu'il faut, c'est étiqueter une molécule sans changer aucune de ses propriétés chimiques. C'est ce que permettent les isotopes.

On sait que la plupart des éléments possèdent plusieurs isotopes naturels. Dans un échantillon moyen de carbone, la plupart des noyaux atomiques ont six protons et six neutrons mais environ un sur quatre-vingt-dix possède six protons et sept neutrons. Les atomes légers constituent le C^{12} et les atomes lourds le C^{13}. Qualitativement, ces deux variétés sont chimiquement indiscernables. Aucune opération chimique du type habituel n'en changera les proportions respectives, de façon appréciable. Il y a cependant de très petites différences dans les vitesses de réactions chimiques, et on peut, en utilisant le principe de la colonne à fractionnement, intensifier ces différences et obtenir graduellement une séparation partielle. On a obtenu ainsi des échantillons d'hydrogène, de carbone, d'azote, d'oxygène et de soufre, anormalement riches en isotopes lourds.

Le développement, pour la fission de l'uranium, des réacteurs nucléaires à flux intense de neutrons, a permis la production en grande quantité d'isotopes radioactifs. L'isotope habituel est maintenant le carbone radioactif à longue période C^{14}. On expose des noyaux d'azote N^{14} au bombardement par neutrons: un neutron est capté, un proton expulsé. Les noyaux de C^{14} ne sont pas très instables. La période est de 5700 ans. La désintégration d'un noyau s'accompagne de l'émission d'une particule β, avec régénération de N^{14}. On a obtenu de même, des isotopes radioactifs du phosphore, du soufre, du fer, et d'autres éléments importants au point de vue biologique.

Les isotopes instables sont faciles à détecter et à doser. Le compteur de Geiger-Müller peut enregistrer une seule désintégration. Il suffit donc d'un échantillon faiblement radioactif. Le principe de ce compteur est celui de la plupart des appareils de mesure, et on peut l'utiliser avec des échantillons solides, liquides, ou gazeux. Le montage destiné à l'analyse d'un isotope particulier dépend du pouvoir pénétrant de son rayonnement. Les échantillons solides, qui contiennent du C^{14} sont étalés sur des disques standardisés en dimensions et formes, placés eux-mêmes dans une lourde culasse, à une distance déterminée du tube compteur. Les désintégrations enregistrées sont comptées automatiquement, et on peut construire des instruments qui comptent automatiquement plusieurs échantillons de suite. On fait les corrections de décompte pour les radiations accidentelles et pour l'absorption de radiation par l'échantillon lui-même. On exprime souvent le résultat en décharges par minute et par milligramme de carbone présent, quantité proportionnelle à la concentration en isotope. La désintégration radioactive est un phénomène de hasard, il faut donc poursuivre le décompte assez longtemps pour éliminer les fluctuations.

L'utilisation des isotopes comme traceurs biochimiques est, en principe, très simple. On part d'un échantillon enrichi en isotope d'un élément biologiquement important, et on l'utilise dans la synthèse d'un composé normalement assimilé par l'organisme étudié. On introduit cette substance dans l'organisme, et on examine ensuite l'excrétion et la répartition de l'isotope dans les divers constituants des tissus. On est sûr que les molécules marquées résultent de processus métaboliques normaux.

On possède en général l'élément enrichi sous une forme chimique simple: par exemple, le carbonate de baryum pour C^{14}, un sel d'ammonium pour N^{15}, etc. L'élaboration d'une molécule marquée présente quelques différences intéressantes avec la synthèse organique ordinaire. C'est toujours l'isotope qui a le plus de valeur. Il faut choisir — ou inventer — une méthode qui permette de l'introduire aussi tard que possible, pour minimiser les pertes aux étapes consécutives. Dans une synthèse totale ordinaire, le chimiste peut partir d'un composé très complexe, pourvu qu'un autre en ait fait la synthèse auparavant, mais s'il faut incorporer des isotopes, ces premiers travaux ne sont pas nécessairement utilisables. On a quelquefois beaucoup de mal à faire la synthèse de composés que l'on trouverait autrement sur les étagères du laboratoire. Soit, par exemple, à préparer, à partir de carbonate de baryum C^{14}, deux échantillons d'acide acétique, l'un marqué sur le carboxyle, l'autre sur le méthyle. On libère le gaz carbonique du carbonate par un acide. Une moitié est condensée, à l'aide d'air liquide, dans un tube qui contient une solution d'iodure de méthyl-magnésium. On réchauffe à 0°, et il se produit la réaction:

$$CH_3.MgI + C^*O_2 \rightarrow CH_3.C^*O_2.MgI,$$

C^* désignant le carbone marqué. Par décomposition en milieu acide, l'acide acétique marqué sur le carboxyle est libéré. L'autre moitié du gaz

carbonique est réduite catalytiquement sous pression en méthanol $C^*H_3.OH$, ce dernier est transformé en iodure de méthyle, $C^*H_3.I$, puis en iodure de méthyl-magnésium, que l'on fait réagir, comme ci-dessus, avec du CO_2 ordinaire, non marqué, pour obtenir l'acide acétique marqué sur le méthyle. De même, pour obtenir un acide aminé, $R.CH(N^*H_2).CO_2H$, marqué avec N^{15}, une bonne méthode consiste à réduire un acide α-cétonique, $R.CO.CO_2H$, avec de l'hydrogène, en présence d'ammoniac isotopique N^*H_3: on n'utiliserait guère cette méthode pour une synthèse ordinaire, mais elle a l'avantage de n'introduire l'isotope qu'à la dernière étape.

Un composé naturel complexe est parfois difficile, ou même impossible à préparer sous forme marquée par synthèse totale. Dans certains cas, on peut alors procéder à un échange d'atomes: on a préparé ainsi l'acide palmitique marqué au deutérium (H^2) par chauffage de l'acide normal en présence d'eau lourde et d'un catalyseur au platine. Faute de pouvoir faire cela, on peut s'adresser à un organisme vivant qui fera la synthèse du composé marqué, à partir de l'isotope, incorporé à sa nourriture, sous une forme chimique convenable. Là, on est évidemment moins maître de la position des atomes marqués dans la molécule.

Dans un composé synthétisé biologiquement à partir d'un précurseur isotopique, il est souvent important de déterminer la teneur en isotope d'atomes particuliers de la molécule, pour voir dans quelle mesure ils dérivent de l'atome ou des atomes marqués, du précurseur. La dégradation d'un composé organique est la méthode habituelle pour élucider sa structure; il faut alors scinder la molécule, par des réactions simples à interpréter, en fragments identifiables, et aussi gros que possible. Séparer les atomes individuels nécessite souvent le développement de méthodes différentes. Poursuivons l'exemple précédent: soit un échantillon d'acide acétique marqué, quel est le pourcentage d'isotope dans chaque carbone ? On préparera alors de préférence le sel de lithium qui, chauffé, se transforme en acétone qui distille et carbonate de lithium, résidu indistillable provenant du carboxyle

$$2CH_3.CO_2.Li \rightarrow CH_3.CO.CH_3 + Li_2CO_3.$$

L'acétone donne avec l'hypoiodite de soude, de l'acide acétique et de l'iodoforme, CHI_3, qui provient du méthyle de l'acétone, donc du méthyle de l'acide acétique initial. Si l'isotope est C^{13}, le carbonate de lithium et l'iodoforme sont convertis séparément en CO_2, pour l'examen au spectrographe de masse; s'il s'agit de C^{14}, on fixe le CO_2 sous forme solide pour le comptage.

On a travaillé d'abord avec les isotopes de l'hydrogène et de l'azote, premiers éléments biologiquement importants dont on ait pu préparer les isotopes à grande échelle. La plus grande découverte de cette période fut alors ce que Schoenheimer a appelé l'équilibre dynamique des constituants du corps. La composition chimique d'un animal adulte reste sensiblement constante. On pourrait penser que sa nourriture ne joue que le rôle de combustible pour fournir de la chaleur et de l'énergie. Une quantité plus faible compenserait l'usure des tissus. Dès les premières expériences de Schoenheimer, il a fallu rejeter cette conception: si on nourrit un animal d'acides gras marqués au deutérium, une forte proportion de ces acides apparaît dans les dépôts graisseux dans tout le corps. De plus, même si on administre un acide gras isotopique particulier, l'isotope se répartit bientôt parmi tous les acides constituants de la graisse du corps. Des expériences analogues, avec d'autres aliments, ont montré que les tissus du corps se décomposent et se reforment constamment. Il ne faut pas se représenter un organisme comme un moteur qui se répare tout seul, mais plutôt comme un réservoir hydraulique — l'eau qui arrive dans le lac se mélange plus ou moins avec celle qui y est déjà, avant d'aller traverser les turbines, ou de s'écouler. Il y a une analogie plus véridique avec les réactions chimiques réversibles; celles-ci peuvent, globalement, se produire dans un certain sens, mais il y a cependant, à chaque instant, des molécules qui subissent la transformation inverse, et s'il y a équilibre, c'est seulement parce que les deux transformations se font avec la même vitesse.

Ce flux et ce reflux rapides et incessants, dans un organisme vivant, est l'une des premières difficultés auxquelles se heurte l'étude de la biosynthèse. Les trois constituants principaux d'un organisme vivant: — protéines, graisses, glucides, — aux molécules relativement grosses, ne sont pas seulement en équilibre dynamique avec les aliments, mais aussi entre eux. L'isotope du carbone, administré sous forme de sucre, apparaît dans les protéines et les graisses du corps, aussi bien que dans les glucides. Aussi est-il souvent important de doser l'isotope dans les tissus aussi vite que possible après l'incorporation, avant que l'atome marqué ne se répande trop uniformément.

Les grosses molécules du corps sont brisées en

petites unités destinées à être resynthétisées. La quantité réelle de petites molécules présentes dans les tissus à un instant donné est souvent très petite. Un des intermédiaires-clés du métabolisme animal est l'acide acétique, dont l'existence est pourtant si éphémère dans l'organisme vivant qu'il faut des méthodes indirectes pour le déceler. Si l'organisme absorbe de l'acide acétique marqué, il se mélange au «pool» métabolique transitoire d'acide acétique, qui est constamment épuisé par les synthèses, et renouvelé par les dégradations d'autres molécules, en particulier des graisses. Si l'on administre en même temps une amine convenable, qui ne soit pas du constituant normal du corps, une partie de l'acide acétique du «pool» sert à l'acétyler, et l'amine est excrété dans l'urine sous forme de dérivé acétylé. On peut employer ainsi la sulfanilamide; elle est excrétée sous forme de N-acétylsulfanilamide,

$$CH_3.CO.NH.C_6H_4.SO_2.NH_2,$$

composé facile à isoler, et hydrolysable inversement en sulfanilamide et acide acétique. On examine la teneur isotopique de l'acide acétique récupéré de cette façon. La proportion d'isotope dans l'acide récupéré dépend (*a*) de la quantité d'acide acétique métabolique à laquelle la dose marquée se mélange, (*b*) de la vitesse à laquelle le stock d'acide acétique disparaît et est remplacé. En faisant une série d'expériences, et en extrapolant à l'instant 0, on peut avoir une idée de ces deux facteurs, et donc de l'importance de l'acide acétique comme intermédiaire en biosynthèse. Rittenberg et Bloch ont estimé de cette façon que le rat produit environ 1 g d'acide acétique par jour et par 100 g de poids total.

Dans une expérience de ce genre, il faut s'assurer que le composé isolé de l'organisme, comme d'ailleurs le composé administré n'ont pas d'impureté à teneur isotopique plus élevée. Ceci est particulièrement important lorsque la proportion d'isotope est faible. La recristallisation d'un composé, jusqu'à une radioactivité constante vaut mieux que la purification ordinaire jusqu'à point de fusion constant. Lorsqu'on ne peut isoler un métabolite qu'en petite quantité, ce n'est pas facile de se débarrasser complètement des impuretés. On peut souvent tourner cette difficulté en ajoutant un grand excès connu de composé non-isotopique pur, ce qui donne une quantité plus importante à isoler; l'isotope est dilué, mais encore décelable. De cette façon, on peut parfois déceler dans un mélange complexe des composés inséparables autrement.

LES ÉTAPES DE LA PHOTOSYNTHÈSE

Le phénomène biosynthétique le plus important, qui conditionne la vie sur notre planète, est la photosynthèse, dans laquelle les plantes vertes utilisent l'énergie solaire pour fixer le gaz carbonique atmosphérique. Voilà longtemps qu'on sait qu'une feuille verte, exposée au soleil, absorbe du gaz carbonique et libère de l'oxygène; que les chloroplastes de la feuille, qui contiennent la chlorophylle verte, sont intimement liés à cette fonction; et que le gaz carbonique atmosphérique est la source de carbone pour tous les tissus des plantes. Cette absorption chimique d'énergie solaire est aussi le fondement de la vie animale; les animaux ne font pas de photosynthèse, mais obtiennent leur nourriture plus ou moins directement des plantes, et leur énergie par réaction d'une partie de cette nourriture avec de l'oxygène. On avait aussi reconnu que les vies végétales et animales se complétaient, — la plante absorbe du gaz carbonique et libère de l'oxygène, tandis que l'animal fait l'opposé. Si on fait jeûner une feuille en la tenant à l'obscurité, puis qu'on l'expose à la lumière, le changement le plus manifeste décelable par les vieilles techniques est le renouvellement des réserves épuisées d'amidon. Donc, le glucose, sucre constituant de l'amidon, est un produit important de la photosynthèse: la dégradation du glucose est aussi une source essentielle d'énergie animale, et on pourrait presque écrire l'équation réversible:

$$6CO_2 + 6H_2O \underset{\text{respiration}}{\overset{\text{photosynthèse}}{\rightleftharpoons}} C_6H_{12}O_6 + 6O_2.$$

La conversion du gaz carbonique en glucose est, chimiquement parlant, une réduction. On s'est demandé si c'était dans une réduction du gaz carbonique en formol, CH_2O qu'intervenait l'énergie solaire. Emil Fischer avait bien montré que l'on peut polymériser, avec bien peu d'efficacité, le formol en hexoses. Il a peut-être été malheureux que l'on ait pu représenter si simplement un processus global, car cela tendait à dissimuler l'ignorance où l'on était du chemin suivi. Il n'y a que depuis ces douze dernières années que l'on a étudié avec succès le mécanisme détaillé: il a fallu attendre le développement d'outils analytiques plus puissants, dont le principal est l'isotope du carbone. On avait pu cependant arriver à une conclusion importante, auparavant: la fixation de gaz carbonique et le dégagement d'oxygène sont des étapes distinctes. On peut obtenir, en déchirant les cellules vertes, un suc vert qui contient les chloroplastes. Ce suc

ne fixe plus le gaz carbonique, mais peut encore dégager de l'oxygène à la lumière en présence de certains oxydants; ces derniers sont réduits simultanément. Ces expériences et d'autres ont conduit à l'idée, considérée maintenant comme correcte, que la réaction qui absorbe l'énergie solaire n'est pas la fixation de gaz carbonique, mais la rupture de molécules d'eau, avec mise en réserve de l'hydrogène dans un système enzymatique (X) qui passe sous la forme réduite (XH_2), tandis que l'oxygène est libéré:

$$2H_2O + 2X \rightarrow 2XH_2 + O_2.$$

Le système XH_2 participe alors à la fixation de gaz carbonique. Les premières applications de la technique des isotopes ont consisté à utiliser de l'oxygène isotopique, soit dans l'eau, soit dans le gaz carbonique, fourni à une plante en photosynthèse active. Ces expériences ont montré que l'oxygène dégagé provenait de l'eau, et non du gaz carbonique. Plus tard, avec l'utilisation de gaz carbonique radioactif, on a pu démontrer qu'une plante exposée à la lumière en l'absence de gaz carbonique peut ensuite fixer du gaz carbonique à l'obscurité, pendant encore plusieurs minutes.

En ce qui concerne le destin du gaz carbonique assimilé, on a fait des progrès spectaculaires, dus surtout à Calvin et à ses collaborateurs, à Berkeley, en Californie. Les algues vertes sont pour cela des sujets expérimentaux plus commodes qu'une plante supérieure, car on peut les manipuler sous forme de soupe, et cela permet une absorption efficace et uniforme de la lumière et du gaz carbonique. On illumine une suspension d'algues (*Chlorella*, *Scenedesmus*) et on lui fournit, simultanément, ou après, en l'absence de lumière, du gaz carbonique radioactif. A un instant déterminé, on tue les cellules en les immergeant dans l'acide, et on examine leurs constituants. Le partage chromatographique sur papier, développé à peu près à la même époque, constitue une méthode bien adaptée à l'analyse des mélanges complexes présents dans une plante. La position d'un composé sur le chromatogramme est une indication provisoire de son identité, et on peut localiser les composés radioactifs par l'effet Becquerel: une plaque photographique se voile au voisinage d'une source radioactive. On a ainsi un radio-autographe du papier.

Cette méthode a montré que le gaz carbonique, une fois absorbé, se répartit parmi un grand nombre de constituants de la plante. Pour trouver quel est le produit immédiat de fixation, il faut réduire à quelques secondes le temps de contact avec le gaz radioactif. Il n'y a alors que peu de photosynthèse, mais on peut tourner la difficulté en utilisant du gaz carbonique de haute activité. Plus la durée du contact est réduite, moins il y a de taches radioactives sur le chromatogramme, et une proportion de plus en plus forte du gaz carbonique fixé se retrouve dans le carboxyle de l'acide phosphoglycérique

$$HO_2C^*.CHOH.CH_2.O.PO_3H_2:$$

dans certaines conditions favorables, on en trouvait les trois quarts dans cette position. La dégradation nécessaire de l'acide phosphoglycérique s'effectue par hydrolyse en acide glycérique suivie d'oxydation au periodate; chaque atome de carbone apparaissant séparément, sous forme de gaz carbonique (le carboxyle), d'acide formique (le carbone en α) et d'aldéhyde formique (le carbone en β). Mais les processus métaboliques sont si rapides dans une plante, que si la photosynthèse dure quelques minutes, ces trois atomes deviennent également radioactifs. Ces résultats suggèrent que la réaction primaire de fixation se passe entre du gaz carbonique et un accepteur a deux carbones, par exemple, l'aldéhyde phosphoglycollique, $OHC.CH_2OPO_3H_2$. La réaction de fixation peut alors s'écrire:

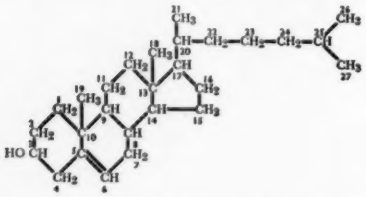
$$C^*O_2 + OHC.CH_2OPO_3H_2 + XH_2 \rightarrow HO_2C^*.CHOH.CH_2OPO_3H_2 + X.$$

L'incorporation rapide de l'isotope dans les carbones α et β de l'acide phosphoglycérique signifie que l'intermédiaire à deux carbones doit lui-même se former à quelque étape initiale de la photosynthèse. On cherche maintenant à élucider la nature et le mode de formation de cet intermédiaire. En vérité, on peut prédire en toute sécurité qu'on va en apprendre plus sur la photosynthèse dans les vingt années qui viennent que depuis les premières découvertes expérimentales, faites il y a plus de 180 ans. Le carbone radioactif sera certainement l'outil principal dans ces recherches, mais il devra sans doute s'allier à des techniques expérimentales de plus en plus compliquées.

BIOSYNTHÈSE DES STÉROÏDES

La biosynthèse du cholestérol pose des problèmes tout autres. Les stéroïdes, dont le cholestérol est l'archétype, peuvent être synthétisés par les tissus animaux et végétaux, et se retrouvent dans la plupart des organismes, sauf, semble-t-il, dans les bactéries. Chez l'animal, le cholestérol est important pour le transport des acides gras, et

l'on pense que c'est le précurseur des hormones sexuelles, des hormones cortico-surrénales, et de la vitamine D. On a débrouillé la structure du cholestérol après de longues recherches analytiques, et on en a accompli récemment la synthèse au laboratoire. Le schéma tétracyclique du cholestérol est caractéristique des stéroïdes:



Ce que nous savons actuellement sur sa biosynthèse découle en grande partie des travaux de Konrad Bloch, à Chicago. Les premières expériences avec le deutérium ont montré que l'acide acétique se transforme rapidement en cholestérol; des travaux ultérieurs, avec C^{13} et C^{14} ont confirmé ce résultat, et montré que l'acide acétique peut être la source de tous les vingt-sept atomes de carbone du cholestérol. On peut donc le regarder comme une unité fondamentale de la structure. Des coupes de foie de rat encore vivantes peuvent faire la synthèse du cholestérol, à partir d'une solution contenant de l'acétate, et c'est une façon utile d'obtenir du cholestérol marqué, biosynthétique, pour les études de distribution isotopique. Avec du cholestérol préparé de cette façon à partir d'acide acétique marqué sur le groupe méthyle, ou bien sur le carboxyle, Bloch a appliqué des réactions de dégradation connues, pour isoler quelques atomes individuels. Certains étaient radioactifs, et pas les autres; mais ceux qui étaient inactifs, lorsque le cholestérol provenait d'acétate marqué sur le carboxyle étaient actifs lorsque le précurseur était l'acétate marqué sur le méthyle, et réciproquement. Cela indique que la construction de la molécule de cholestérol à partir de l'acide acétique se fait suivant un schéma déterminé, et par comparaison de la radioactivité des atomes séparés avec l'activité totale de la molécule, on peut estimer que sur les vingt-sept atomes de carbone de la molécule, quinze dérivent du méthyle de l'acétate, et douze du carboxyle.

On a alors entrepris une dégradation poussée du cholestérol, pour mettre en évidence ce schéma de construction. Heureusement, les méthodes initialement mises en œuvre pour déterminer la structure de la chaîne latérale *iso*-octyle,

$$CH_3.\overset{|}{C}H.CH_2.CH_2.CH_2.CH(CH_3)_2,$$

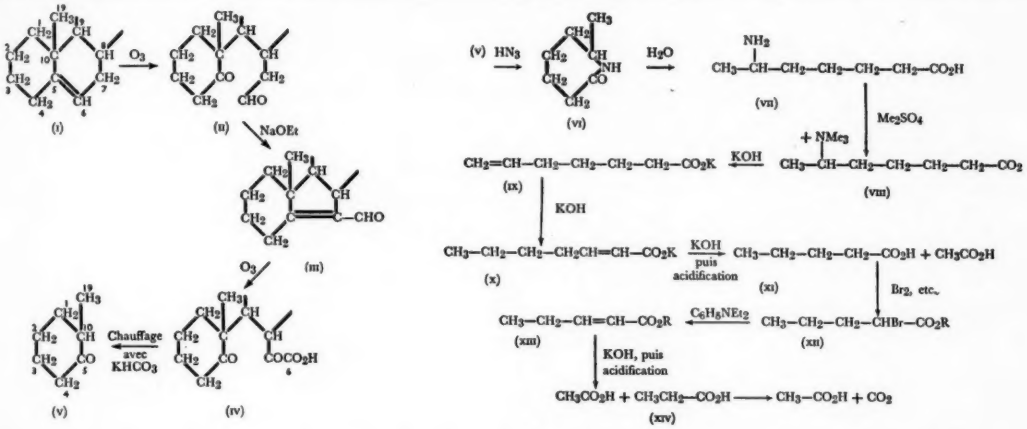
étaient encore applicables. Par saturation de la double liaison, et acétylation de l'hydroxyle, on passe du cholestérol à l'acétate de cholestanyle. Celui-ci peut s'oxyder, quoiqu'avec un mauvais rendement, en acétone qui provient du groupement $—CH(CH_3)_2$ terminal. On peut séparer les atomes de carbone individuels de l'acétone par les méthodes déjà signalées, mais il est évidemment impossible de distinguer entre les deux méthyles, qui occupent des positions identiques.

Dans l'oxydation qui donne de l'acétone, le reste de la molécule de cholestanol apparaît sous forme d'acide acétoxy-allocholanique, où la chaîne latérale est réduite à $CH_3.\overset{|}{C}H.CH_2.CH_2.CO_2H$. On connaît des méthodes, pour dégrader cet acide, qui permettent la séparation des atomes de carbone qui restent dans la chaîne. Au total, on a trouvé que trois des huit carbones de la chaîne latérale dérivent des carboxyles de l'acide acétique, et cinq des méthyles. Soit *c* les premiers, *m* les seconds, le schéma dans la chaîne latérale devient:

$$m—\overset{|}{c}—m—c—m—c\begin{matrix}\diagup m\\ \diagdown m\end{matrix}.$$

Au National Institute for Medical Research, Hunter, Popják et l'auteur ont attaqué la molécule de cholestérol à l'autre extrémité: sur les cycles où se trouvent l'hydroxyle et la double liaison. On ne connaissait aucune dégradation convenable, il fallait donc en inventer une, que l'on voit sur les formules partielles ci-dessous. On se débarrasse d'abord de l'hydroxyle par conversion en chlorure, et réduction consécutive. L'hydrocarbure obtenu, le cholestène (I), est oxydé par l'ozone en un aldéhyde cétonique (II), traité à son tour par l'alcoolate de sodium, et converti ainsi en aldéhyde éthylénique (III). Une nouvelle ozonisation transforme celui-ci principalement en un acide α-cétonique (IV). Une partie de cet acide, chauffée dans l'aniline, perd le carbone carboxylique, correspondant au C_6 du cholestérol, sous forme de CO_2. Le reste de l'acide, par chauffage énergique avec du bicarbonate de potassium, subit la rupture prévue avec formation de 2-méthyl-*cyclo*-hexanone (V), qui a été isolée.

On a ainsi détaché un morceau de sept carbones. Il faut dès lors les séparer les uns des autres. Par l'acide azothydrique, on transforme la méthyl-*cyclo*hexanone (V) en lactame (VI), hydrolysable en acide 6-amino-heptoïque (VII). Celui-ci est converti en bétaïne (VIII) avec le sulfate de méthyle. Par chauffage de la bétaïne en présence de potasse, il y a sans doute formation préalable



d'un acide éthylénique (IX), mais on sait que dans un tel acide la potasse fait migrer la double liaison qui vient se conjuguer au carboxyle (X); c'est alors seulement qu'il y a rupture par oxydation, avec formation des acides valérique (XI) et acétique. On analyse comme précédemment l'acide acétique, qui contient les carbones 4 et 5 du cholestérol. L'acide valérique est dégradé suivant une méthode que nous avions déjà mis au point pour les acides gras. Par bromuration du chlorure acide, suivie d'addition d'alcool néopentylique, on passe au bromo-ester (XII); le traitement à la diéthylaniline bouillante, cause l'élimination de gaz bromhydrique, et l'ester éthylénique correspondant (XIII), chauffé avec la potasse, subit une rupture par oxydation analogue à la précédente, en acides propionique (XIV) et acétique. La dégradation habituelle de l'acide acétique fournit les carbones 2 et 3 du cholestérol; l'acide propionique est oxydé en acide acétique et gaz carbonique (carbone 1). L'analyse de cette troisième molécule d'acide acétique donne les carbones 19 et 10.

La convention déjà utilisée permet de mettre en évidence l'origine des huit atomes de carbone: quatre dérivent du méthyle de l'acétate, quatre du carboxyle. Voici le schéma:

Ces deux dégradations permettent l'examen individuel de la majorité des atomes de carbone du cholestérol. On s'occupe actuellement d'isoler ceux des carbones qui restent, mais on est déjà en mesure de soumettre toute théorie biosynthétique détaillée à une épreuve rigoureuse: car la théorie doit prédire avec précision la position des atomes marqués lorsqu'on part d'un précurseur marqué.

Nous avons dû, nécessairement, omettre dans cet article plusieurs aspects importants de la biosynthèse. Dans l'état actuel de nos connaissances, les enzymes jouent un rôle essentiel en biosynthèse, dont l'étude est, à certains points de vue, une branche de la chimie enzymatique. Bien avant les isotopes, on étudiait des réactions enzymatiques isolées, et on a trouvé dans la technique des traceurs une arme nouvelle et puissante. Par exemple, c'est le carbone isotopique qui a permis de mettre en évidence des enzymes assimilant le gaz carbonique dans beaucoup de cellules où il n'y a pas de photosynthèse. L'enzymologie évolue vers l'étude des systèmes à plusieurs enzymes, et les études biosynthétiques permettront de juger de l'importance d'un système particulier dans le fonctionnement normal de l'organisme.

La biosynthèse pourra bien peut-être un jour concurrencer sérieusement la chimie organique synthétique. Dans le passé, il a souvent été moins onéreux de préparer un produit à partir du charbon ou du pétrole, que de l'extraire de la matière vivante. Cela tient essentiellement à ce que la synthèse artificielle ne vise qu'un composé déterminé. Ce composé n'est jamais qu'un constituant parmi bien d'autres dans l'économie de l'organisme vivant. Si dans l'avenir, on a une plus grande maîtrise des processus métaboliques, on le devra à nos connaissances en biosynthèse. Il y a toujours eu des développements rapides aux débuts d'une technique nouvelle, mais il est peu vraisemblable que l'élan donné par les isotopes à l'étude des problèmes biologiques se ralentisse avant bien des années.

Une collection Newton

E. N. DA C. ANDRADE

La passion du collectionneur a son utilité aussi bien que ses joies: ainsi, une collection des différentes éditions des œuvres d'un auteur est une source de renseignements sur le développement de ses idées et de son caractère. L'auteur décrit certaines pièces de sa collection qui se rapportent à la jeunesse de Newton, puis les différentes éditions tant anglaises qu'étrangères, des grandes œuvres de l'illustre savant, et, en dernier lieu les ouvrages mineurs qui éclairent certains côtés du caractère de Newton. Il n'existe pas une édition collective des œuvres de Newton.

La bibliophilie est une passion comme une autre: elle se justifie par de bonnes raisons, sans toutefois que la raison y trouve son compte. Le véritable amateur se plaît à regarder, à palper, à sentir les vieux livres qu'il a choisis; il trouve dans leurs enseignements une saveur d'un agrément unique. Le vrai guide du collectionneur c'est sa prédilection, et l'on ne saurait trouver impulsion plus louable; car n'est-ce pas la prédilection qui pousse un homme de science à choisir un sujet plutôt qu'un autre ? Il arrive souvent à un résultat par intuition bien plus que par raisonnement, remettant à plus tard l'ordonnance raisonnée du compte rendu de ses travaux. Tout ceci explique tant soit peu pourquoi j'ai rassemblé la collection d'œuvres de Newton dont il sera ici question. Cependant il ne faudrait pas que les autres collectionneurs s'imaginent que ce soient là les seuls mobiles qui m'ont amené à rechercher les vieilles éditions de Newton: la vénération, la curiosité, l'«acquisivité», l'amour de la science y sont aussi pour quelque chose, et surtout cette secrète passion connue des seuls bibliophiles.

Une collection de livres se rapportant à Newton n'a pas seulement la valeur de tout ce qui touche à l'un des génies les plus prestigieux de tous les temps, mais elle est indispensable à qui veut connaître l'homme. Les éditions de ses grands ouvrages parues de son vivant diffèrent entre elles, et ces variations reflètent l'évolution de ses idées. Les traductions du latin en anglais et vice-versa soulèvent parfois des questions intéressantes, tandis que les premières éditions posthumes ont une grande valeur, ayant été en général annotées par des savants de grand renom. Il eût mieux valu évidemment que Newton publiât ses travaux à mesure qu'il les exécutait, mais la première édition, même tardive, revêt une importance capitale du fait qu'elle n'a généralement pas été réimprimée. D'autre part ses recherches sur les prophéties et la chronologie, qui ne figurent que dans les éditions primitives, bien que ne touchant guère à ses spécialités, peuvent servir à comprendre son caractère. Du reste, il est significatif qu'il n'existe encore aucune édition collective des œuvres de Newton, et ce n'est pas de si tôt qu'on en verra une, étant donné les difficultés énormes de l'entreprise et le fait qu'à notre époque les loisirs et l'érudition sont rares, et les fonds insuffisants. L'examen de chaque ouvrage fera ressortir sans doute d'autres considérations intéressantes.

Il y a des écrits se rattachant à la jeunesse de Newton qui, bien que celui-ci n'en soit pas l'auteur, ont leur place dans toute bibliothèque Newton. Ainsi, les vers que Brewster et L. T. More [1], entre autres, lui attribuent sont empruntés à une édition d'*Eikon Basilike* [2]. Mon exemplaire, qui contient ces vers, fait partie de l'édition de 1649, laquelle figure sous le numéro 43 dans la Bibliographie d'Almack. Nul doute que le portrait de Charles Ier que Newton exécuta pour accompagner ces vers a été copié du frontispice du livre en question [3]. L'horloge à eau qu'il construisit semble inspirée de l'image et de la description qu'en a faites John Bate dans *The Mysteries of Art and Nature*. Ce même livre, comme je l'ai démontré [4], a également fourni les règles et les conseils pour bien peindre et dessiner, les recettes, formules de remèdes, etc., que contient un des premiers carnets de Newton. Le livre de Bate parut en 1634, mais par comparaison je me suis convaincu que l'exemplaire dont s'est servi Newton appartient à la troisième édition (1654), dont un exemplaire se trouve dans ma collection, voisinant avec un exemplaire de la deuxième.

C'est dans la préface du livre d'Isaac Barrow communément intitulé *Lectiones Opticae* (1669) que le nom de Newton paraît pour la première fois: Barrow y remercie pour son aide «*Isaacus Newtonus*,

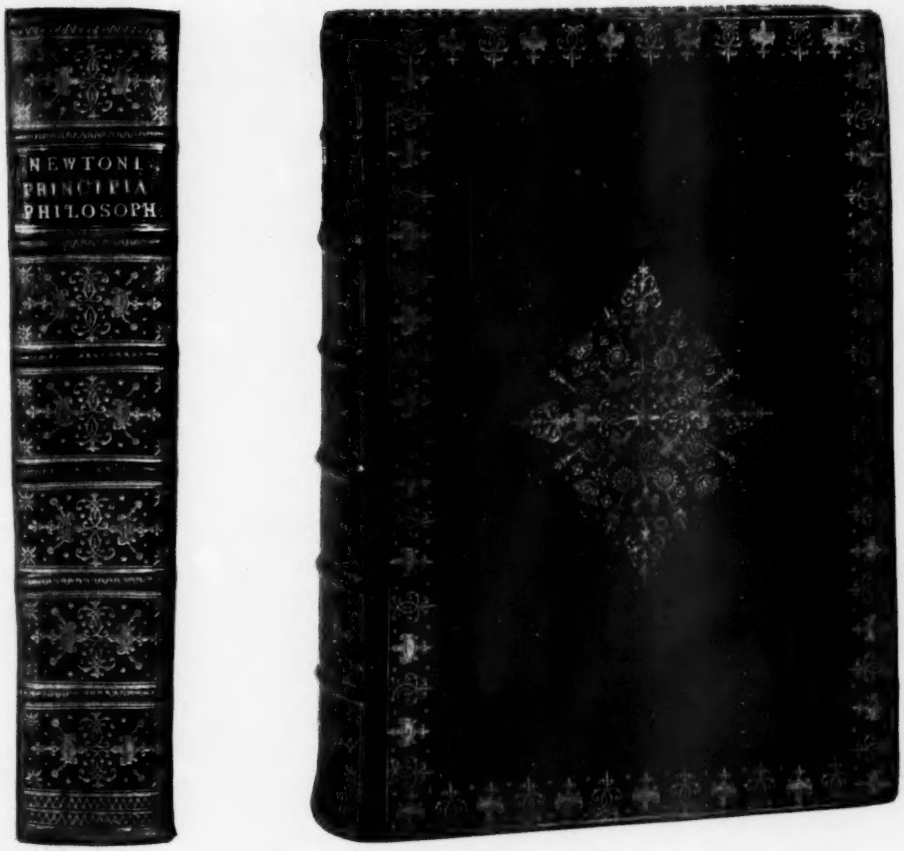


FIGURE 1 – *Exemplaire de la troisième édition des* Principia *tiré sur très grand papier et relié en marocain rouge dit «harléien»; offert par Newton à Littleton Powys.*

collega noster (*peregregiae vir indolis et insignis peritiae*)» —Isaac Newton, notre collègue, homme d'une intelligence et d'une habileté exceptionnelles. Ce livre est une curiosité au point de vue bibliographique: la page de titre donne un aperçu des conférences sur l'Optique, ajoutant: «*annexae sunt Lectiones aliquot Geometricae*»—quelques conférences sur la géometrie y sont annexées; mais ce titre porte la date 1669 et les conférences de géometrie ont un titre séparé daté 1670. Mon exemplaire de cette édition a été détruit pendant la dernière guerre en même temps que mon laboratoire. Je possède toutefois un exemplaire relié des deux ouvrages réunis, auquel on a accolé un titre daté 1672 portant une indication d'éditeur (pas d'imprimeur) différente, et un autre dont la page de titre, libellée et composée différemment, porte l'indication 1674. Les trois éditions ont des feuillets identiques, de sorte qu'elles se valent au point de vue du collectionneur: les différents titres indiquent seulement des libraires différents.

Signalons, avant de passer aux pièces capitales, un autre ouvrage de moindre importance: la Géographie de Varenius annotée par Newton. Celui-ci écrit à John Collins le 25 mai 1672: «Le livre qui est ici sous presse est la Géographie de Varenius pour laquelle j'ai dessiné des figures. Je pense qu'il sera achevé dans six semaines.» Une note du traducteur, M. Dugdale, ajoutée à la préface de la version anglaise (1733) laisse entendre que Newton faisait des cours de géographie tout en occupant la chaire Lucas.

Les pièces principales de toute collection Newton sont, comme de juste, les éditions des

«Principes» dont le titre complet est *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*. La première édition parut en 1687. Newton avait mis dix-huit mois à écrire l'ouvrage, sur les instances de Halley. En fait c'est grâce à Halley que le livre fut publié, car c'est lui qui le premier se rendit compte de l'importance de l'œuvre de Newton; c'est lui qui se chargea de le faire imprimer, à ses frais, et c'est toujours lui qui empêcha Newton, qui avait pris ombrage de certains propos de Hooke, de supprimer le dernier des trois livres dont se compose l'ouvrage. Halley écrivit en outre le bel éloge en vers latins qui figure en tête du volume.

Une étrange coïncidence a voulu que l'ouvrage porte l'imprimatur de Samuel Pepys, qui présidait la Société Royale, non pas l'année de la publication du livre, mais l'année précédente, 1686, où il fut envoyé à l'impression. Il y a deux rédactions de la page de titre: l'une porte l'indication *Londini, Jussu* SOCIETATIS REGIAE *ac Typis* JOSEPHI STREATER. *Prostat apud plures Bibliopolas.* ANNO MDCLXXXVII, et l'autre où l'on peut lire, après Streater: *Prostant Venales apud* SAM. SMITH *ad insignia Principis Walliae in Coemiterio D.* PAULI, *aliosq; nonnullos Bibliopolas.* ANNO MDCLXXXVII. Ces deux rédactions constituent ce qu'on a coutume d'appeler le premier et le second tirage de la première édition. Il se trouve dans chaque tirage certaines erreurs qui ont été soigneusement cataloguées: à la page 72, par exemple, un mauvais numérotage et le mot-souche mal imprimé. Ces erreurs ont été corrigées, en partie ou en totalité, dans certains exemplaires, mais étant donné que chacune ne correspond pas toujours à la même page de titre, je pense qu'il n'y a eu qu'une seule impression, et qu'il est inexact de dire que l'un ou l'autre titre appartient à un «premier tirage». Macomber de l'Institut Babson (Massachusetts), après avoir examiné les textes mêmes ou des comptes rendus de 20 exemplaires (y-compris les deux qui m'appartiennent, un de chaque tirage) est également d'avis qu'il n'y a eu qu'une impression du texte, au cours de laquelle il y eut quelques remaniements, et qu'après avoir rassemblé au hasard les feuillets diversement corrigés, on les a reliés en y joignant l'une des deux pages de titre. Ceci cadre avec les conclusions de Lord Keynes, Newtonien éminent, qui le premier a soulevé le point: Lord Keynes a légué sa collection Newton à *King's College* (Cambridge), dont le bibliothécaire, A. N. L. Munby en a publié un compte rendu [5].

Il semble incontestable que les exemplaires portant l'indication Sam. Smith étaient destinés à être vendus à l'étranger: le mien est relié en parchemin, avec la signature de Jacobus Peirce «Lugd. Bat.», c'est-à-dire *Lugdunum Batavorum*, Leyden,[1] ce qui est la rédaction la plus rare de la page de titre, Macomber fait actuellement le recensement des exemplaires de la première édition des *Principia*, et en a jusqu'ici relevé 145, dont 28 portent l'indication Sam. Smith. Nous ignorons le chiffre du tirage, mais on s'accorde à penser qu'il fut restreint. Mon exemplaire des *plures Bibliopolas*, appartenait jadis au duc de Bedford et porte son ex-libris daté de 1703.

La deuxième édition des *Principia* fut imprimée à Cambridge en 1713, et la page de titre porte la célèbre devise *Hinc lucem et pocula sacra*. Roger Cotes, que Newton avait en haute estime, a présenté et annoté cette édition, considérablement élargie par endroit. Elle se compose d'in-4° du même format que la première, mais l'impression en est plus serrée, de sorte que malgré les augmentations, elle comporte moins de pages. Le tirage fut de 750 exemplaires. Ce n'est pas un livre rare mais il est difficile d'en trouver des exemplaires en bon état.

La troisième édition imprimée en Angleterre (1726), parut en 3 formats: ordinaire, semblable aux éditions précédentes, à savoir, 24 sur 18,5 cm; un tirage sur grand papier de 28,0 sur 21,6 cm, dimension de mon exemplaire, qui a appartenu à S. P. Rigaud, érudit astronome d'Oxford, auteur de *Historical Essay on the First Publication of Sir Isaac Newton's Principia*, et enfin un tirage sur très grand papier, destiné aux envois d'auteur, format 32,6 sur 23,4 cm. Selon la Bibliographie des œuvres de Sir Isaac Newton (1907), de Gray, seulement 12 exemplaires furent tirés. Il a été toutefois reconnu depuis longtemps que ce chiffre est très inférieur à la réalité. Herbert Davis a récemment découvert la preuve incontestable que 50 exemplaires ont été imprimés sur Jésus, 200 sur grand papier et 1000 sur carré (édition ordinaire). La reliure des exemplaires à très grand papier varie: certains sont habillés en marocain rouge dit «Harléien», parce que leurs ornements présentent le même dessin que ceux des volumes de la célèbre bibliothèque réunie par Robert Harley, premier comte d'Oxford.[2] Il se peut que Gray fasse allusion à ceux-ci quand il parle de «12 exemplaires

[1] Peirce, étudiant en théologie, a pris ses inscriptions à l'Université de Leyden en 1695.

[2] «Politicien habile et sans scrupules, il se distingue comme chef de parti mais, possédant peu des qualités d'un homme d'état, fut un piteux ministre».—G. F. Russell Baker. Robert Harley fut *Lord Treasurer* de la reine Anne 1710–14.

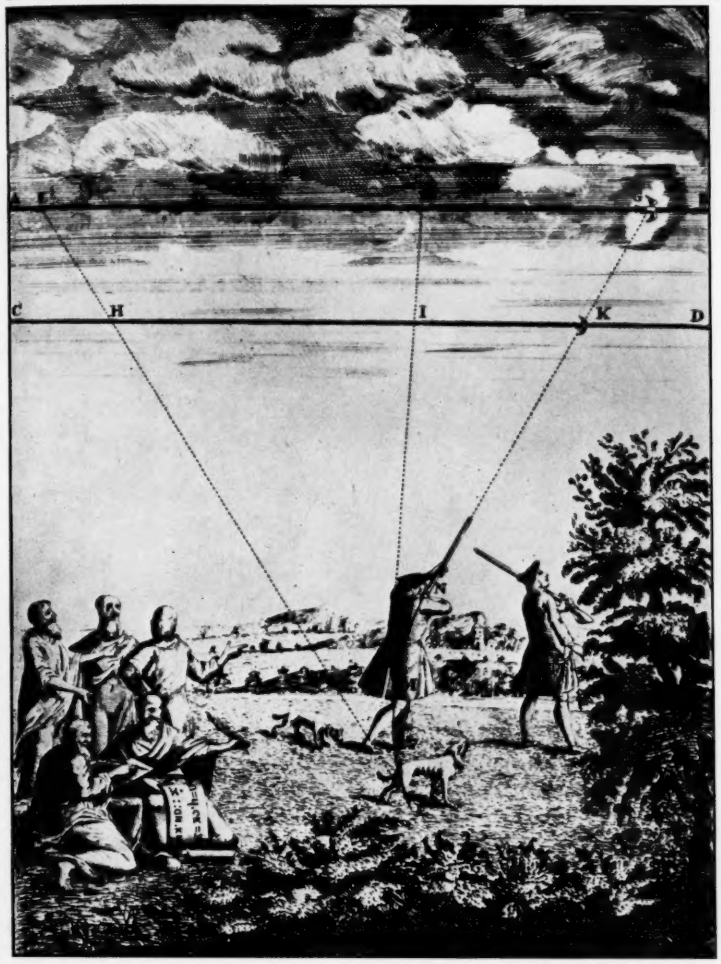


FIGURE 2 – *Gravure de la version anglaise, par Colson, de la* Geometria Analytica *de Newton, destinée à illustrer le principe du calcul différentiel.*

seulement, manifestement destinés à être des envois d'auteurs». Ces volumes sont dorés sur tranches. D'autres sont reliés en cuir de Russie, soit uni, soit frappé. L'exemplaire de Babson a été relié par Clarke et Bedford: la reliure n'a donc pas plus de cent ans d'existence. Le mien, relié en marocain rouge «Harléien» (figure 1) est celui qui a été offert par Newton à Littleton Powys et provient de la bibliothèque Lilford.[1] Des 50 exemplaires à très grand papier Macomber a retrouvé en tout 28.

Tout collectionneur devrait posséder la traduction anglaise par Andrew Motte, en deux volumes, «qui contient également les lois du mouvement de la Lune, déterminé par l'attraction, par John Machin», paru en 1729: un livre qui se fait rare. J'ai aussi un magnifique exemplaire de cet ouvrage revu par W. Davis, qui a paru en trois volumes en 1803. Il s'y trouve une vie de Newton, de peu de valeur: il rapporte l'anecdote à propos du chien Diamant, dont l'authenticité est plus que douteuse et parle du caractère «doux et soumis» de Newton, ce qui étonnerait fort ceux qui sont au courant de ses disputes avec Hooke et ses démêlés avec Flamsteed. Je n'ai aucune des éditions américaines dont la première parut en 1846. En 1934 une réimpression de la traduction de Motte parut en Amérique: le volume porte au dos le nom de Cajori, qui a revu la traduction, mais pas celui de Motte.

La traduction française des *Principia* par la Marquise du Chastellet (aujourd'hui Châtelet), maîtresse présumée de Voltaire,[2] a paru en 1759 en deux beaux in-4°. Mon exemplaire vient de la bibliothèque de Luton, et porte donc l'ex-libris du Marquis de Bute. La Marquise mourut en 1749 et sa traduction fut alors revue par le célèbre mathématicien Clairaut, qui y annexa ses propres commentaires. On ne sait au juste quelle est la part qui revient à Clairaut dans cette traduction car celui-ci avait été le professeur de sciences de la Marquise.

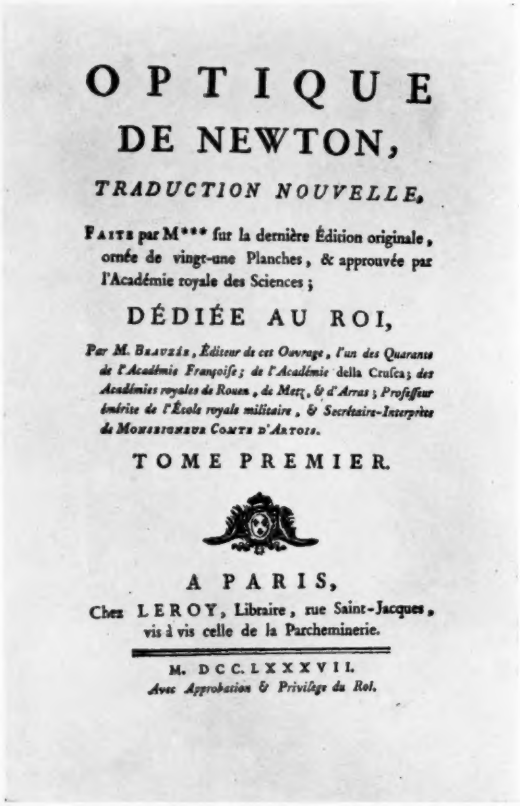
En tête de l'ouvrage se trouve un poème de Voltaire sur la physique de Newton; il est adressé à la Marquise qui y est appelée «Minerve de la France, immortelle Emilie». Le poème suggère un autre livre intéressant, ayant paru pour la première fois dans «Elémens de la Philosophie de

[1] Powys est le nom de famille des Barons Lilford. Thomas Powys fut le premier à porter le titre en 1797.

[2] «Cette liaison qui troubla sa vie, et nuisit à sa réputation, a donné lieu à plusieurs anecdotes que nous ne rapporterons point ici, les unes par respect pour la décence, les autres par égard pour la vérité. Au reste, quelle qu'ait été la nature de cette liaison, le souvenir en sera plus durable que les ouvrages de Mme de Chastelet . . .»—Michaud.

Neuton» (Amsterdam, 1738), où Voltaire donne un excellent compte rendu, «à la portée de tout le monde», des découvertes de Newton. Mes exemplaires de ce livre n'ont pas tous le même frontispice: l'un, qui semble être du premier tirage, ne comporte pas de portraits; l'autre portant la signature de l'astronome danois, C. Horrebow, a deux frontispices se faisant face: l'un représente un homme écrivant, vêtu à la romaine et couronné de lauriers, dans une salle ornée de figures allégoriques et de nuées; l'autre est un portrait de Voltaire. Une édition de la même date avec indication Londres — il ne faut pas attacher d'importance aux indications de Voltaire — contient un très mauvais portrait de Newton faisant face à celui de Voltaire. Une édition de 1741, toujours de Londres, a seulement le portrait de Newton: cette dernière édition contient l'anecdote apocryphe de la pomme, qui ne figure pas dans celles de 1738, et pourtant Voltaire l'a introduite en 1733 dans ses «Lettres sur les Anglais». Je ne possède que la version anglaise de ce dernier ouvrage qui parut la même année sous le titre *Letters concerning the English Nation.* Je n'ai aussi qu'une version anglaise des «Elémens» faite par John Hanna, professeur de mathématiques, parue, comme l'original, en 1738.

Pour en revenir aux *Principia*, la première édition étrangère parut à Amsterdam en 1714. Elle reproduit page pour page l'édition parue en Angleterre en 1713, également en latin, mais il s'agit d'une recomposition complète et non d'un simple changement de reliure. Mon exemplaire est relié en parchemin frappé, très à la mode à cette époque sur le Continent. L'édition suivante d'Amsterdam (1723) est augmentée de l'*Analysis per Quantitatum Series*, dont il sera question plus loin. J'en possède aussi un exemplaire habillé en parchemin frappé. Les exemplaires de l'édition parue à Genève en 1739 sont aussi des pièces de collection: on l'appelle à tort «l'édition des Jésuites» car Thomas Le Seur et Francis Jacquier, les auteurs des excellents commentaires, appartenaient à l'ordre des Minimes.[1] Elle comporte trois volumes, et parfois quatre, comme mon meilleur exemplaire. En 1760 parut à Genève une édition corrigée de la précédente. L'édition de Le Seur et Jacquier a fait autorité pendant longtemps. Un détail amusant est que la première édition porte l'indication *Genevae* mais la seconde



OPTIQUE
DE NEWTON,
TRADUCTION NOUVELLE,

FAITE par M*** sur la dernière Édition originale, ornée de vingt-une Planches, & approuvée par l'Académie royale des Sciences;

DÉDIÉE AU ROI,

Par M. BEAUZÉE, Éditeur de cet Ouvrage, l'un des Quarante de l'Académie Françoise; de l'Académie della Crusca; *des Académies royales de Rouen, de Metz, & d'Arras; Professeur émérite de l'École royale militaire, & Secrétaire-Interprète de* MONSEIGNEUR COMTE D'ARTOIS.

TOME PREMIER.

A PARIS,
Chez LEROY, Libraire, rue Saint-Jacques, vis à vis celle de la Parcheminerie.

M. DCC. LXXXVII.
Avec Approbation & Privilège du Roi.

FIGURE 3 – *Titre de la traduction faite par Marat de l'*Opticks *de Newton.*

Coloniae Allobrogum, rappelant l'ancien nom de la même ville: quelque pédant avait dû objecter au nom actuel. Dans ma collection se trouvent plusieurs éditions ultérieures, notamment celle qui contient les commentaires de Le Seur et Jacquier, imprimée par la presse universitaire de Glasgow en 1822 (nouveau tirage en 1833), mais elle ne présente aucun intérêt particulier.

En 1728, donc après la mort de Newton, parut sous son nom un *Treatise on the System of the World*, dont l'authenticité a été mise en doute, sans raison sérieuse, semble-t-il. C'est le troisième livre des *Principia* mis à la portée de tous. Le texte latin dont c'est la traduction parut toutefois ultérieurement en 1731, destiné, selon le titre, à l'usage des jeunes gens des universités. La version anglaise eut trois éditions, ce qui prouve qu'elle a été appréciée.

Tout de suite après les *Principia*, par ordre d'importance, vient l'*Opticks: or a Treatise of the Reflexions, Refractions, Inflexions and Colours of Light.*

[1] Ordre fondé en Italie par Saint François de Paule au xve siècle et qui se propagea aussitôt en France. Les Minimes ne sont pas assujettis à la Règle de Saint François d'Assise, bien que leurs institutions s'en inspirent.

Also Two Treatises of the Species and Magnitude of Curvilinear Figures, sous un beau titre rouge et noir. Newton était âgé de 61 ans quand parut l'ouvrage en 1704, mais il en avait écrit une grande partie bien avant cette date. On croit que Newton en a différé la publication jusqu'après la mort de Hooke en 1703, pour éviter toute polémique.

Les *Principia* parurent pour la première fois en latin, tandis que l'*Opticks* a vu le jour en anglais, les deux traités de mathématiques annoncés en anglais dans le titre étant toutefois rédigés en latin: *Enumeratio Linearum Tertii Ordinis* et *Tractatus de Quadratura Curvarum*. Mon meilleur exemplaire est relié en marocain rouge de l'époque, avec tranches dorées: probablement un envoi d'auteur bien qu'il ne soit pas dédicacé. Je n'en ai jamais vu d'autre pareillement relié. Il fallait alors un texte latin pour les lecteurs continentaux: une traduction latine par Samuel Clarke parut donc en 1706 sous le titre *Optice*. Mon exemplaire appartenait à J. L. E. Dreyer, renommé pour ses études sur l'histoire de l'astronomie. Les volumes des deux éditions latine et anglaise, sont des in-4° imprimés par Sam. Smith et Benj. Walford, imprimeurs de la Société Royale. L'édition latine comporte de notables additions aux remarquables «questions» qui terminent l'ouvrage. L'édition latine en comporte vingt-deux et l'anglaise, seize. Les questions additionnelles, qui tiennent plus de place que les questions primitives, renferment une étude de la nature de la lumière polarisée, qui paraît ici pour la première fois, et en outre des hypothèses surprenantes au sujet de la lumière et de la structure atomique, notamment celle qui débute ainsi: «Les corps grossiers et la lumière ne sont-ils pas interchangeables, et ne se peut-il pas que ces corps doivent une grande partie de leur activité aux particules de lumière qui entrent dans leur composition ?»

La deuxième édition anglaise in-8° est une pièce indispensable en raison du nombre accru des «questions», porté à trente-et-une. Il y en eut, semble-t-il, deux tirages, car quelques exemplaires portent l'indication 1717, et les autres, 1718. La troisième édition, de 1721, est une réimpression de la deuxième, avec quelques mots ajoutés à la fin. La quatrième, de 1730, donc posthume, reproduit la troisième: mon exemplaire de la quatrième a été donné comme livre de prix en 1742, au *Trinity College* de Dublin, dont il porte les armes sur sa couverture; il a appartenu ultérieurement à J. L. E. Dreyer, puis à E. F. Armstrong qui me l'a donné. Une deuxième édition latine de l'*Optice* contenant ces trente-et-une questions parut en 1719, j'en possède un exemplaire à grand papier.

Il y eut deux traductions françaises de l'*Opticks* au XVIIIe siècle, la première par Pierre Coste (1720, 2e édition: 1722) et la deuxième par M***, dont la préface critique sévèrement l'édition Coste. Cette deuxième édition est «dédiée au Roi», détail peu conforme à l'œuvre ultérieure du traducteur, qui n'est autre que J.-P. Marat, le révolutionnaire.

Il ne faut pas confondre avec l'*Opticks* les *Lectiones Opticae* qui reproduisent des notes réunies par Newton en 1669 pour un cours professé à Cambridge tandis qu'il occupait la chaire Lucas. Cet ouvrage n'a paru qu'en 1729, après sa mort, bien qu'il soit le fruit des travaux antérieurs à ceux qui ont donné naissance à l'*Opticks*. Une version anglaise — car les notes étaient en latin — parut un an plus tôt. Je possède les deux versions: mon exemplaire latin provient de la bibliothèque de Walter Bowman lequel, à en juger par d'autres volumes de ma collection, faisait habiller tous ses livres luxueusement en veau plein. L'édition latine comprend deux parties, dont seulement la première figure dans la traduction anglaise. La version russe, publiée en 1946, est la seule complète, que je sache. J'en possède un envoi d'auteur sous reliure spéciale: il m'a été dédicacé par le regretté S. I. Vavilov, qui l'a traduit et annoté.

C'est surtout en examinant l'œuvre de Newton en mathématiques que l'on s'aperçoit de son horreur pour la publication. Il a d'ailleurs laissé entendre «qu'il ne tenait pas du tout a être imprimé à tout bout de champ». Les seuls travaux qu'il publia personnellement sont ceux annexés à l'*Opticks*, mentionnés plus haut. C'est William Jones qui publia, en 1711, le manuscrit intitulé *De Analysi*, communiqué par Newton à Barrow en 1669, et contenant les bases des calculs différentiel et intégral. Le livre comprend également les deux traités primitivement joints à l'*Opticks*. Il en existe des exemplaires sur grand papier épais: j'en ai un dédicacé par Sir William Jones à «Mr. Allen», qui appartint ensuite à R. A. Sampson, *Astronomer Royal* d'Ecosse. En 1736 John Colson édita une version anglaise d'un manuscrit latin *Geometria Analytica* et Horsley inséra le texte latin dans son *Isaaci Newtoni Opera Quae Exstant Omnia* (1779). Ce livre de Colson contient d'excellents commentaires et une gravure amusante montrant un chasseur tirant un oiseau, ce qui est supposé représenter une notion élémentaire du calcul différentiel. Mon exemplaire est à grand papier, et non catalogué, semble-t-il. John Stewart édita en 1745, en un beau volume in-4°, une version anglaise de la *Quadratura* et de l'*Analysis* avec

un commentaire, «le tout mis à la portée des commençants auxquels l'ouvrage est destiné». Il ne faudrait pas omettre une traduction française, «La Méthode des Fluxions et des Suites Infinies par M. le Chevalier Newton, 1740», et émanant peut-être, contre toute vraisemblance, de la plume du grand Buffon. La préface en est remarquable.

Il faut lire le *Commercium Epistolicum* pour se renseigner sur la polémique Leibniz-Newton à propos de la découverte du calcul différentiel. Je n'en possède pas d'exemplaire de la première édition, mais j'en ai de la seconde (1722) et de la troisième (1725), qui contiennent des augmentations et des modifications. Une édition critique en Français de 1856 est à remarquer. Il serait fastidieux de faire le compte rendu ou seulement la liste des livres publiés au sujet de la controverse, dont les savants ne se sont pas encore désintéressés.

Signalons aussi l'*Arithmetica Universalis*, parue en 1707, toujours *In Usum Juventutis Academicae*. La jeunesse universitaire devrait être rudement ferrée sur la question si elle a pu comprendre cet ouvrage car, comme dit H. W. Turnbull, «il passe à pieds joints à la manière de Wallis sur l'algèbre et l'arithmétique élémentaires et s'engage à fond sur la théorie des équations». Il s'y trouve notamment une règle pour la détermination des racines imaginaires des équations, qui ne fut vérifiée qu'en 1865 par le mathématicien Sylvester. Comme toujours, Newton l'envoya à l'impression à contrecœur. David Gregory écrit au sujet de ce livre: «Newton doit se rendre à Cambridge en été pour le voir, et s'il n'en est pas satisfait, il achètera l'édition entière. C'est un cours professé il y a des années et déposé à la bibliothèque, conformément au règlement». Parmi les éditions latines ultérieures, il s'en trouve une très belle, in-4°, portant l'indication Amsterdam 1761, pourvue d'abondants commentaires par Castillioneus[1] et de suppléments par divers auteurs. Mon exemplaire est habillé de parchemin frappé. Il y en eut trois éditions anglaises: la première datée de 1720.

Ce sont là les pièces principales de la collection des œuvres scientifiques de Newton. Cependant celui-ci s'attarda dans d'autres domaines, notamment la chronologie, la théologie et la chimie. Après sa mort parut (1728) *The Chronology of the Ancient Kingdoms Amended*, autre exemple d'une œuvre écrite sans intention de publication, cette fois à la requête de la Princesse de Galles, Caroline de Brandebourg-Anspach. En outre, l'Abbé Conti publia à Paris, en 1725, sous le titre «Abrégé de Chronologie de M. le Chevalier Newton», une version française suivie d'une critique de Fréret, ce qui était un abus de confiance dont Newton s'affligea. Je ne possède pas l'ouvrage, mais j'ai dans ma collection, *Sir Isaac Newton's Chronology Abridged by Himself, to which are Added Some Observations on the Chronology of Sir Isaac Newton. Done from the French, by a Gentleman. London* 1728; c'est une version anglaise de l'ouvrage de Newton ainsi que des commentaires de Fréret. Ce livre est très rare. Mon meilleur exemplaire de la *Chronology* mesure 28,2 sur 22,8 cm. Newton s'attaque ici au problème d'ajuster les événements historiques et bibliques au temps écoulé depuis la Création, fixée à environ 4004 av. J.-C., en tenant compte du déluge (2348 av. J.-C.). Il fait du temple de Salomon une description détaillée, illustrée de 3 planches. Ces questions étaient à l'époque l'objet d'un grand intérêt et d'études sérieuses. Une édition parut à Dublin en même temps que celle de Londres; mon exemplaire a été donné comme livre de prix au *Trinity College* de Dublin. Il convient de citer, parmi les livres publiés au sujet de la chronologie une apologie en français par Sir James Steuart[2] (Francfort-sur-le-Main, 1757) en réponse aux critiques de Souciet, et une volumineuse critique de Fréret, parue à Paris en 1758, après la mort de celui-ci. La valeur de ces ouvrages gît en ce qu'ils éclairent certains côtés du caractère de Newton, et aussi de l'érudition de l'époque.

L'œuvre théologique publiée de Newton comprend *Observations upon the Prophecies of Daniel, and the Apocalypse of St. John* (1733). Sir Daniel Brewster, dans sa biographie de Newton, rappelle que le grand homme avait dans sa jeunesse étudié les Ecritures et ajoute: «Ce travail génial témoigne d'une grande érudition, et porte la marque de son éminent auteur». Le livre devrait figurer dans toutes les collections Newton; il est du reste le plus facile à obtenir, et à un prix modique.

Il n'y a pas d'édition définitive des œuvres complètes de Newton et les difficultés immenses de l'entreprise pourraient bien empêcher qu'il y en ait jamais. De 1779 à 1785 parut une édition collective dont il a déjà été question, sous le titre *Isaaci Newtoni |Opera Quae Exstant Omnia*, Samuel Horsley, éditeur, en 5 volumes in-4°. L'ouvrage est très beau et contient, outre le texte des livres

[1] Jean-François Salvemini, qui a pris le nom de Castiglioni, Castillon, Castillioneus, d'après sa petite ville natale de Castiglione en Toscane.

[2] Ou Stewart. Le nom est indiqué dans le titre par S——t et peut s'épeler des deux façons. Economiste qui plus tard prit le nom de Denham.

déjà publiés, d'autres écrits de valeur, notamment le texte original inédit de *Methodus Fluxionum* (travail inachevé) et aussi les lettres adressées à la Société Royale au sujet du télescope à miroir. L'édition est toutefois rien moins que complète, elle ne renferme même pas les mémoires imprimés dans les *Philosophical Transactions* ou les lettres citées dans la *History of the Royal Society* de Birch (1756–7), dont je possède l'exemplaire du Marquis de Bute. C'est néanmoins un ouvrage qui a de la valeur et une utilité certaine. Mon exemplaire, qui est absolument intact, porte une reliure de l'époque en cuir de Russie, avec tranches dorées. Plus d'un auteur parle d'une édition complète des œuvres de Newton en huit volumes: ce n'est pas du tout une «édition», mais une «collection», qui peut être constituée par les *Opuscula* annotés par Castillioneus et publiés en trois volumes. (Lausanne et Genève 1744), les *Principia* de Le Seur et Jacquier (1739–42), l'*Arithmetica Universalis*, annotés par Castillioneus (Amsterdam 1761), et l'*Optice*, portant l'indication Lausanne et Genève, 1740. Rien ne prouve que les différents annotateurs et éditeurs aient publié ces ouvrages dans l'intention de constituer une édition collective.

Il y a évidemment une foule d'autres pièces dans toute collection Newton qui se dit complète: des ouvrages de vulgarisation, comme les *Dialoghi sopra La Luce, I Colori, e l'Attrazione* d'Algarotti (1737), portant la devise *Quae legat ipsa Licoris*, eurent une grande vogue et furent traduits en anglais sous le titre *Sir Isaac Newton's Philosophy Explain'd for the use of the Ladies. In Six Dialogues on Light and Colours* par Elizabeth Carter, amie de Samuel Johnson; des critiques dirigées contre l'œuvre scientifique de Newton, comme le *De Luminis Affectionibus* de Rizzetti (1727), et celles des originaux dont parle De Morgan dans *Budget of Paradoxes* Il y a encore des biographies: celles de Brewster, de L. T. More, de J. W. N. Sullivan et d'autres; les témoignages de contemporains tels que Stukeley et Whiston, et des livres modernes sur les travaux de Newton à la Monnaie, comme *Silver Pound* de Dana Horton et *Newton at the Mint* de Sir John Craig. Les bibliographies de Gray et de Macomber, des catalogues de vente, les comptes rendus des manifestations commémoratives du tricentenaire de la Société Royale et divers autres ouvrages commémoratifs doivent également s'y trouver. Le catalogue de tous ceux-ci, et des divers documents contemporains ou du XVIIIe siècle qui intéressent le «Newtonien», pourrait bien divertir le compilateur mais fatiguerait le lecteur. Après tout, celui qui aura pu rassembler les pièces décrites ici aura déjà constitué un beau noyau pour une collection Newton.

BIBLIOGRAPHIE

[1] MORE, L. T. «Isaac Newton», p. 15. Charles Scribner's Sons, New York et Londres. 1934.

[2] ANDRADE, E. N. DA C. *Proc. phys. Soc. Lond.*, **55**, 426, 1943.

[3] STUKELEY, W. «Memoirs of Sir Isaac Newton's Life». Composé en 1752; première édition: Taylor and Francis, Londres. 1936.

[4] ANDRADE, E. N. DA C. *Nature, Lond.*, **135**, 359, 1935.

[5] MUNBY, A. N. L. Archives de la Société Royale.

Les alcaloïdes dans les plantes

W. O. JAMES

Exposé des diverses théories sur le rôle physiologique des alcaloïdes: protection de la plante; substances de réserve, substances de croissance, ou déchets de métabolisme. L'expérience a réfuté toutes ces explications soit en partie soit en totalité. On pense actuellement que la formation des alcaloïdes est généralement liée au métabolisme des protéides et comporte des synthèses compliquées où intervient l'action des gènes et des enzymes dites adaptatives. On en est encore à des hypothèses quant à leur rôle physiologique.

De nombreux chercheurs appartenant à diverses branches scientifiques, s'intéressent aux problèmes des alcaloïdes et, bien que ceux-ci soient exclusivement d'origine végétale, les botanistes en savent bien moins sur leur compte que les chimistes et que ceux qui s'attachent aux différents aspects de la médecine. Tout botaniste qui étudie les alcaloïdes se pose invariablement une question: pourquoi les plantes les forment-elles ? Vis-à-vis de ce problème, il n'y a guère de différence entre le chimiste organicien pour lequel les alcaloïdes sont principalement de jolis problèmes de structure moléculaire, entre le pharmacien ou le médecin qui s'intéressent à leurs propriétés curatives, et tout simplement l'homme de la rue qui apprécie le tabac de sa pipe. Neuf fois sur dix ou même plus, on s'attend à une réponse téléologique. Les premiers botanistes prirent la même attitude et tentèrent ensuite de trouver la réponse désirée.

La solution la plus populaire a toujours été l'idée de protection de la plante et d'ailleurs une très intéressante analogie a été récemment fournie par l'étude des insecticides organiques. Ces substances introduites dans la sève des plantes, s'infiltrent partout et s'accumulent dans les parties en croissance des pousses. On a constaté cent pour cent de mortalité parmi des pucerons des choux qui suçaient le jus de feuilles de choux ayant reçu des solutions diluées de l'anhydride *bis* (*bis*-diméthylaminophosphonique). Ce corps n'a pas d'action nocive sur les tissus de la plante [1]. Les alcaloïdes s'accumulent ordinairement dans les méristèmes apicaux et dans les épidermes des feuilles et des parties âgées. Errera [2], dont l'école démontra la première ces distributions dans de nombreuses plantes, suggéra qu'ils pouvaient accomplir une fonction protectrice contre les insectes et les herbivores; cette idée a été reprise plusieurs fois depuis. Les faits cependant n'apportent guère de confirmation à cette idée; les cultivateurs de tabac, de tomates et de pommes de terre ne trouvent pas que leurs plants soient préservés de l'attaque des Insectes, en dépit de leur concentration relativement grande en alcaloïdes. Il est curieux que *Nicotiana* sp. qui accumule la nicotine à un taux considérable soit impunément attaqué par des insectes pouvant être tués par des vaporisations de nicotine [3]. La grande toxicité des alcaloïdes est souvent d'une spécificité étonnante, telle la toxicité de la quinine pour les protozoaires parasites de l'homme. De même, des alcaloïdes très nocifs pour l'homme peuvent être inoffensifs pour d'autres mammifères. La faible concentration en *l*-hyoscyamine de la belladone rend quelques grammes de tissus frais toxiques pour les enfants et les adultes; mais les lapins, les lièvres [4], de nombreux animaux de ferme et les oiseaux peuvent en manger de beaucoup plus grandes quantités sans aucun danger. Les chenilles de *Pieris rapae*, les scarabées et les pucerons peuvent également ravager les plants de belladone. La *Duboisia* n'est pas immunisée contre ceux-ci, bien que son feuillage contienne des concentrations dix fois plus fortes des mêmes alcaloïdes [5]. Les alcaloïdes de la quinine qui atteignent une concentration tout à fait exceptionnelle dans l'écorce de *Cinchona* ne le protègent pas de l'attaque des chenilles dans lesquelles de petits cristaux de cinchonine peuvent se déposer [6]. Les alcaloïdes ne sont pas non plus des fongicides comme le prouvent les incursions de *Phytophthora* dans les pommes de terre, les tomates et le tabac, les moisissures des baies trop mûres de belladone, et la colonisation facile de ses semis par des *Pythium*. En culture, *Cladosporium fulvum* tolère très bien les alcaloïdes essayés [7], mais *Phymatotrichum omnivorum* est inhibé par de faibles concentrations de berbérine et de sanguinarine et est incapable d'infecter des racines en contenant [8]. La cuscute (*Cuscuta*), angiosperme parasite, pénètre les cellules chargées d'alcaloïdes de *Conium* et de *Delphinium* [9]. Il semble donc clair

que la protection de la plante ne peut être une fonction générale des alcaloïdes.

Une fonction de désintoxication a été aussi envisagée, bien qu'il y ait encore moins de support à cette idée. Les alcaloïdes qui sont sans danger pour la plante formatrice, pourraient représenter la perte métabolique de matériaux qui auraient pu autrement devenir nocifs. C'est le rôle qui a été attribué aux amides acides éliminant l'excès d'ammoniaque; la formation des amides, simple et rapide, peut être considérée comme un tampon des concentrations ammoniacales. Pictet [6] a suggéré que la formation des alcaloïdes prévenait l'accumulation de quantités toxiques d'acides aminés tels que la proline, l'histidine et le tryptophane, mais la suggestion demeure sans fondement.

Une autre théorie, plus difficile à évaluer actuellement suggère que parmi les alcaloïdes se trouvent des substances de croissance. Quelques vitamines, co-enzymes, et groupes prosthétiques d'enzymes comprennent des bases azotées dans leurs structures et il est possible que les alcaloïdes soient associés de quelque façon dans leur formation. L'acide nicotinique, apparenté à la nicotine, est par exemple un facteur de croissance essentiel des plantes. Il reste vrai cependant que la grande majorité des plantes, probablement 90%, ne forment pas d'alcaloïdes. De plus, la plupart de ceux qui en forment normalement, peuvent donner des pousses dépourvues d'alcaloïdes et celles-ci croissent sans s'écarter notablement de la normale.

Si l'on veut considérer les alcaloïdes comme réserves végétales au même titre que l'amidon et certaines protéines, on rencontre deux sortes de difficultés. Les alcaloïdes s'accumulent rarement en quantités comparables à celles de ces substances de réserve et la formation de la plupart semble irréversible au cours de la vie normale de la plante. Des exceptions existent, mais le retour des alcaloïdes à la circulation normale n'est établi que chez quelques semis et quelques feuilles mourantes; les quantités transformées sont d'ailleurs toujours très faibles [10]. Les alcaloïdes comptent rarement pour plus de 1 ou 2% de l'azote d'une plante et pour encore moins de son carbone.

L'utilité des alcaloïdes pour la plante est si peu probante que les chercheurs sont amenés à les considérer comme des produits de déchets du métabolisme [11]. Mais à l'inverse des produits de déchet courants, les alcaloïdes sont retenus à l'intérieur de l'organisme dans les cellules vivantes. De plus, ils sont des résidus structuralement complexes d'une série de réactions absorbant de l'énergie à l'encontre des produits simples de dégradation libérant de l'énergie, tels le gaz carbonique et l'urée.

Enfin, il ne suffirait pas de trouver des preuves étayant les suggestions résumées plus haut pour expliquer, d'un strict point de vue scientifique, pourquoi se forment les alcaloïdes. Les rôles de protection, de désintoxication ou de régulation, s'ils existaient, seraient les conséquences et non les causes de la formation des alcaloïdes. C'est aux botanistes expérimentaux de trouver une explication à leur formation.

Pour aucun alcaloïde, il n'est possible de répondre en détail à cette question, mais on peut le faire en gros: cependant cela n'a pas encore été publié. La formation des alcaloïdes est un acte métabolique impliquant des chaînes de réactions plus ou moins longues qui peuvent avoir leur point de départ dans les substances normales et essentielles de la plante. On pense à présent que la biosynthèse des alcaloïdes se fait à partir des acides aminés présents dans toutes les plantes, même dans celles qui ne forment pas d'alcaloïdes. Une plante qui forme des alcaloïdes est une plante chez qui une réaction supplémentaire s'est établie. La distribution taxonomique des alcaloïdes — des groupes caractéristiques d'alcaloïdes voisins étant limités à de petits nombres d'espèces — a toujours été considérée comme une preuve de cette théorie et le petit nombre des exceptions trouvées jusqu'à ce jour ne fait que le confirmer. La possession d'une chaîne de réactions particulière est héréditaire; une espèce donnée donne toujours le même groupe d'alcaloïdes voisins en proportions plus ou moins fixes à l'intérieur de limites tout à fait étroites de concentration, et il est très difficile de modifier ces rapports par les moyens expérimentaux ordinaires. En d'autres termes, le contrôle primaire de la suite des réactions réside dans le complexe de gènes qui détermine le schéma structural des protéines protoplasmiques et particulièrement des protéines catalytiques: les enzymes. La formation des alcaloïdes dépend, comme tout autre processus métabolique, d'un schéma protéique menant à certaines réactions chimiques. Les variations de ce schéma peuvent provoquer des changements dans le processus en question et sont elles-mêmes dues à des variations du génotype tenant d'une mutation ou d'une hybridation. Le contrôle direct d'une enzyme particulière par un seul gène a été mis en évidence chez les animaux, l'homme, les moisissures, les levures, les algues et les plantes à fleurs [12]. On peut considérer la catalyse par un gène spécifique

de la formation d'une enzyme spécifique comme la connexion fondamentale entre la génétique et la biochimie. L'étude biochimique des mutants de *Neurospora crassa* a fourni des exemples élégants et bien connus de chaînes de synthèse conduisant aux acides aminés.

Chez les plantes supérieures, le processus le mieux connu de ce point de vue, est la synthèse des pigments anthocyaniques. Un exemple simple est donné par le gène affectant les couleurs de la fleur de *Primula sinensis*. L'allèle dominant provoque la formation d'un dérivé de la delphinidine et le correspondant récessif celle de pélargonidine. Comme on pense que la cyanidine est le précurseur de l'anthocyanidine, ceci revient au contrôle d'une seule réaction oxydante par le gène dominant et d'une seule réaction réductrice par le gène récessif [13]. On a sans doute un exemple aussi simple pour les alcaloïdes: *Nicotiana tabacum* forme, comme principal alcaloïde, la nicotine, tandis que *Nicotiana glauca* forme surtout l'anabasine, substance voisine. En croisant les deux espèces, on trouva [14] que l'anabasine constitue l'alcaloïde principal de la F_1; dans les générations suivantes, on trouva un mélange en quantités comparables des deux alcaloïdes. On avait donc raison de supposer que cette anabasine contenait une grande proportion de nornicotine [15]. S'il en est ainsi, il en découle que *Nicotiana glauca* possède un gène, absent chez *N. tabacum*, qui contrôle une enzyme provoquant la perte du groupe N-méthyl de la nicotine; une autre preuve vient confirmer cette thèse. Le remplacement de la nicotine par l'anabasine, qui se produisait aussi, implique des rapports plus complexes.

La formation d'une longue suite de réactions par des mutations successives, déterminant chacune une seule étape, semble un processus très long et quelque peu improbable, mais rien ne fait supposer que la formation des alcaloïdes se soit uniquement établie par cette voie si pénible. Les alcaloïdes les plus simples pourraient résulter de séries très courtes d'étapes chimiques à partir des acides aminés. Ainsi l'hordénine se formerait en trois étapes à partir de la tyrosine: par décarboxylation de l'acide aminé on passe à la tyramine, puis par deux N-méthylations successives on passe à la monométhyltyramine, puis à l'hordénine. Une seule mutation produisant une décarboxylase de la tyrosine, peut accomplir ceci; en effet une enzyme de transméthylation ayant une faible spécificité pour l'accepteur de méthyl peut bien faire partie de l'équipement existant dans les cellules. Il n'y a pas de raison pour supposer qu'une enzyme pourrait n'agir que dans une seule suite de réactions. On connaît des enzymes des deux types mentionnés dans différents tissus. Des chaînes très longues de réactions peuvent d'ailleurs nécessiter un moins grand nombre d'enzymes qu'il ne le semble d'abord; en effet chaque étape de la synthèse cellulaire n'est pas nécessairement contrôlée par une enzyme. On a prouvé que des alcaloïdes comme la lobélanine et la pseudopelletiérine se formaient *in vitro* en absence de catalyseurs, en *p*H neutres [16] et l'on peut concevoir que même dans la cellule la formation de quelques-uns soit spontanée.

Comme la formation d'une enzyme nouvelle, ou apparemment nouvelle, ne requiert pas nécessairement un gène nouveau, une possibilité très intéressante se présente. On sait que plusieurs enzymes ne sont pas constamment présentes dans la cellule, mais n'existent qu'en présence d'un certain facteur; les plus courantes sont les enzymes adaptatives qui n'existent qu'en présence d'une certaine substance, leur substrat, celle-ci étant apportée à la cellule ou formée par elle. Elles sont surtout connues chez les organismes inférieurs, spécialement chez les Bactéries. On ne sait que très peu de leur présence chez les plantes supérieures; et on pourrait supposer que ces types fixes du point de vue métabolique, n'en produisent pas. En fait, on a des preuves que ce n'est pas ainsi. Dans les premiers stades de la germination de l'orge, l'hydrolyse de l'amidon est catalysée par la β-amylase. Peu après, l'α-amylase fait son apparition et accélère l'hydrolyse à la fois de l'amidon et des dextrines à longue chaîne formées par la β-enzyme. Au moment où l'hydrate de carbone est épuisé l'α-amylase disparaît. La courbe en fonction du temps de l'activité de l'α-amylase durant la germination suit de très près celle de la concentration en dextrines à longue chaîne [17]. Elle ne persiste pas plus que les dextrines capables de donner des réactions colorées avec l'iode. La présence d'une ou de plusieurs de ces dextrines semble donc capable de provoquer la formation de l'α-amylase, bien que le substrat le plus complexe, l'amidon, ne le puisse pas. Le produit ultime de l'activité amylasique est le maltose, alors qu'*in vivo* la plus grande partie de l'amidon est dégradée en sucrose, probablement par l'intermédiaire d'une phosphorylase. Jusqu'à présent, l'utilité de l'activité α-amylasique pour l'organisme est tout aussi problématique que celle de la formation des alcaloïdes. Les enzymes adaptatives existent aussi dans l'*Arum* et les spadices voisins; la dégradation d'une grande

quantité d'amidon s'y produit à grande vitesse, accompagnée d'une absorption d'oxygène cent fois plus forte que dans les tissus voisins. La dégradation rapide de l'amidon produit en effet des quantités inaccoutumées d'intermédiaires oxydables dépassant la capacité oxydante normale de la cellule. L'enzyme oxydante métallique que l'on trouve dans la plupart des tissus végétaux ne se trouve pas dans le spadice. Durant la période de respiration intense du spadice, une enzyme flavoprotéique se forme en grandes quantités; il est intéressant de mettre en parallèle la formation d'une enzyme de même type dans les levures lorsqu'un empoisonnement au cyanure a supprimé ses enzymes métalliques. Le substrat de la flavoprotéine est probablement un nucléotide pyridine (co-enzyme I ou II) et l'on a constaté que le taux d'oxydation dans les spadices de *Sauromatum* est proportionnel aux concentrations de ces substances [18].

Une seule mutation d'un gène pourrait donc déterminer toute une série de réactions nouvelles donnant lieu à des synthèses complexes imprévisibles de prime abord. De telles mutations pourraient se faire tout à fait indépendamment du fait que les produits finals soient utiles, mortels ou indifférents à la plante. Il est ainsi possible d'imaginer comment s'est formée l'immense richesse des entités chimiques des plantes. Les milliers de pigments, tannins, polysaccharides, glucosides et alcaloïdes déjà identifiés ne peuvent avoir chacun un rôle essentiel et spécifique. Les plantes même supérieures n'ont pas encore atteint un stade de l'adaptation ultime après élimination de toutes les structures et processus superflus. Les plantes que nous connaissons représentent un stade moyen de l'évolution métabolique et nous sommes témoins de ses possibilités presque inépuisables plutôt que de sa conclusion logique. Si l'on considère certaines structures de formes primitives comme inutiles, les alcaloïdes peuvent être des produits de déchet, mais ils se forment à la suite de synthèses complexes et non cataboliquement comme le gaz carbonique et l'alcool.

BIBLIOGRAPHIE

[1] RIPPER, W. E., GREENSLADE, R. M., et LICKERISH, L. A. *Nature, Lond.*, **163**, 787, 1949.

[2] ERRERA, L., MAISTRIAU, et CLAUTRIAU, G. *Rec. Inst. bot. «Léo Errera», Brux.*, **2**, 147, 1906.

[3] HOROWITZ, B. *Aust. J. Sci.*, **4**, 179, 1942.

[4] «Poisonous Plants on the Farm». Ministry of Agriculture and Fisheries Bulletin N° 75.

[5] TRAUTNER, E. M. Communication personnelle inédite.

[6] WINTERSTEIN, E. et TRIER, G. «Die Alkaloide». Borntraeger, Berlin. 1931.

[7] SCHMIDT, M. *Planta*, **20**, 407, 1933.

[8] GREATHOUSE, G. A. et WATKINS, G. M. *Amer. J. Bot.*, **25**, 743, 1938.

[9] CZAPEK, F. «Biochemie der Pflanzen», Vol. III. Fischer, Iéna. 1922.

[10] JAMES, W. O. «The Alkaloids», éd. R. H. F. Manske et H. L. Holmes. Academic Press, New York. 1950.

[11] TSCHIRCH, A. «Handbuch der Pharmakognosie», Vol. 3, p. 123. Leipzig. 1923.

[12] BEADLE, G. W. *Chem. Rev.*, **37**, 15, 1945.

[13] LAWRENCE, W. J. C. et PRICE, J. R. *Biol. Rev.*, **15**, 35, 1940.

[14] KUSMENKO, A. A. et TIKHVINSKAYA, V. D. *Bull. Acad. Sci. U.R.S.S., Biol. Sér.*, **4**, 564, 1940.

[15] DAWSON, R. F. *J. Amer. chem. Soc.*, **67**, 503, 1945.

[16] SCHOPF, C. et LEHMANN, G. *Liebigs Ann.*, **513**, 190, 1934.

[17] HORA, F. B. Tèse de D. Phil., Oxford. 1936.

[18] VAN HERK, A. W. H. *Rec. Trav. bot. néerl.*, **34**, 69, 1937.

Quelques aspects de la biologie des scorpions

MAX VACHON

Les scorpions, malgré leur stade avancé d'évolution, représentent une des formes animales les plus anciennes, car les exemplaires fossiles remontant à l'époque primaire sont sensiblement identiques à ceux qui vivent aujourd'hui à la surface des continents. L'auteur donne une brève étude de la morphologie des scorpions et de leurs remarquables facultés d'adaptation physiologiques, du mécanisme de la capture de la proie et de sa déglutition, du phénomène de la digestion extérieure, de la reproduction et de l'alimentation embryonnaire.

Les scorpions représentent l'une des formes les plus anciennes parmi celles qui se trouvent encore à la surface des continents. Le nombre des fossiles connus ne dépasse guère la centaine; mais il ne faut pas oublier qu'il s'agit d'animaux terrestres dont les possibilités de fossilisation sont très problématiques. Et le petit nombre des spécimens fossiles étudiés, répartis en maintes régions du globe, ne va pas à l'encontre de ce fait: depuis des centaines de millions d'années, les scorpions, morphologiquement, sont restés identiques tout au moins en ce qui concerne leur architecture essentielle dont les grandes lignes sont données par les figures 4 et 13 et que nous avons étudiée dans notre travail du «Traité de Zoologie» de P.-P. Grassé [10]. La vésicule à venin située à l'extrémité de la queue et les peignes ventraux (fig. 13) permettent de façon certaine de distinguer les scorpions des autres Arachnides. La figure 1 représente une anomalie peu fréquente mais fort anciennement connue puisque Pline en fait mention. Cette division postérieure du corps s'étend parfois jusqu'à la moitié de l'abdomen: son origine est à rechercher au cours du développement embryonnaire. Les scorpions fossiles ont, comme notre *Pandinus* actuel (figure 4), une paire de chélicères, une paire de pattes-mâchoires, 4 paires de pattes ambulatoires, une queue de 5 anneaux, une vésicule à venin et des peignes ventraux. Les scorpions actuels méritent donc bien, à ce point de vue, leur surnom de «fossiles vivants».

Mais, ce surnom ne signifie pas que les scorpions n'aient pas subi d'évolution. On décèle, entre scorpions fossiles et scorpions récents, des différences, signes évidents d'une évolution de détail que soulignent les travaux de l'éminent arachnologiste américain A. Petrunkevitch [5, 6].

L'ÉTONNANTE RÉSISTANCE DES SCORPIONS

Durant les centaines de millions d'années qui se sont écoulées du paléozoïque à nos jours, comme les autres êtres vivants les scorpions ont été soumis aux cataclysmes et aux transformations géologiques et climatiques. Comment ont-ils pu résister, s'adapter et en définitive survivre? L'étude des scorpions de l'Afrique septentrionale, dont deux représentants sont reproduits (figures 2 et 3), nous permet d'émettre quelques hypothèses à ce point de vue [9]. Le Sahara est actuellement un désert mais ne le fut pas toujours; au cours des âges, il a été le théâtre d'une succession de périodes humides et sèches; sa faune est pauvre, dissociée, distribuée en îlots, témoins actuels de sa grandeur passée. Il est certes, des régions arides, privées totalement d'eau, où les scorpions comme bien d'autres animaux, ont totalement disparu; çà et là, persistent des territoires où les conditions de vie se sont modifiées mais pas suffisamment pour que toute vie soit impossible. Le scorpion, de plus, est un animal qui vit enfoncé dans le sol, sous les pierres ou dans des terriers; les transformations, même considérables, du macroclimat, n'amènent dans les couches superficielles que des répercussions relativement atténuées et actuellement, tout un ensemble de recherches, de «microécologie», chez les insectes notamment, tentent à prouver la relative stabilité du microclimat des zones hypogées vis-à-vis de l'extérieur.

Enfin, les scorpions ont surtout résisté parce qu'ils possèdent une plasticité écologique indéniable leur permettant de lutter avec succès contre l'adversité de la nature.

Ce sujet est trop vaste pour être discuté en cet article. Disons simplement, à propos de leur respiration et de leur alimentation, bases essentielles de l'existence, que les scorpions surprennent l'expérimentateur par leurs possibilités de résistance. Ils peuvent rester absolument inertes pendant des semaines à des températures voisines de 0° et revenir, en quelques heures, à une vie

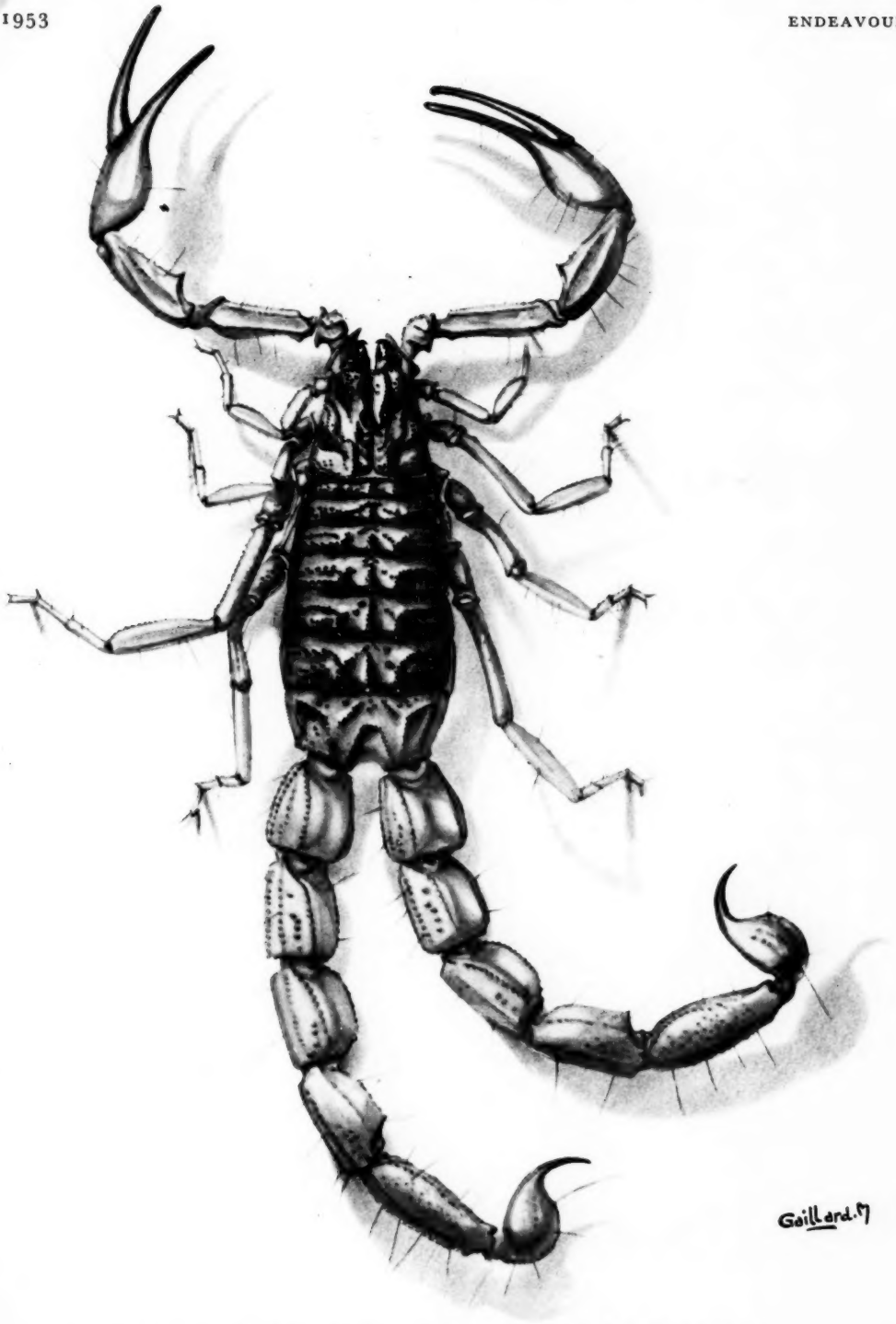


FIGURE 1 – *Femelle adulte de* Buthotus alticola (*Pocock*), *de Kaboul* (*Afghanistan*), *possédant* 2 *queues parfaitement constituées; longueur du corps:* 9 *cm.*

FIGURE 2

FIGURE 3

FIGURES 2 et 3 – *Deux scorpions caractéristiques de l'Afrique du Nord.*

(2) Androctonus australis (*L*) hector *C. L. Koch, espèce à venin mortel et localisée en bordure septentrionale du Sahara; longueur du corps:* 9,5 *cm.*

(3) Orthochirus innesi *E. Simon, espèce vivant dans les oasis sahariens; longueur du corps:* 3 *cm.*

FIGURE 4 – *Femelle adulte de* Pandinus imperator (*C. L. Koch*), *de la Guinée française; longueur du corps:* 18–20 *cm.*

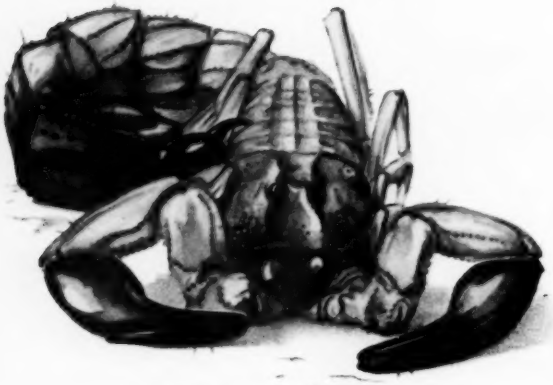


FIGURE 5

FIGURES 5 et 6 – *Deux attitudes d'*Androctonus australis (*L*) hector *C. L. Koch.*

(5) *En repos ou en sommeil. Les chélicères se voient clairement.*

(6) *En position de défense ou de recherche de proies.*

FIGURE 6

Gaillard.M

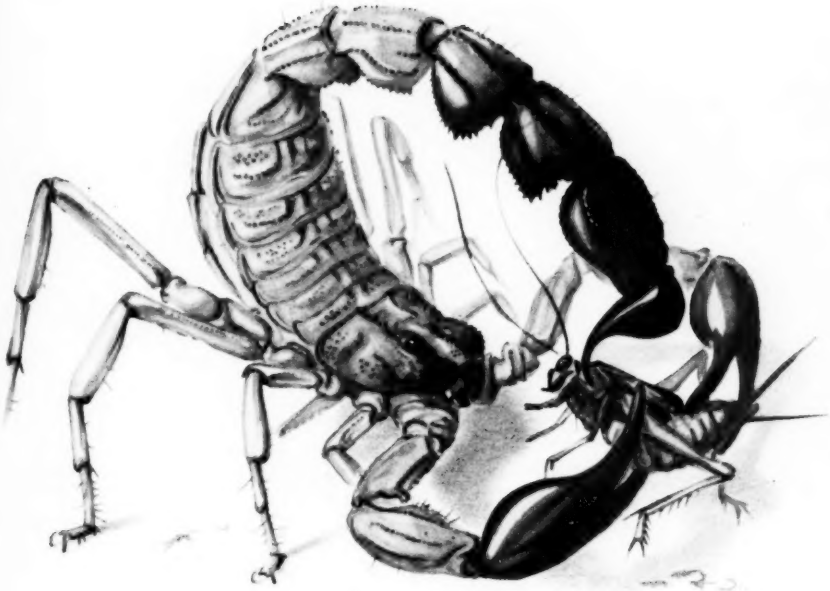


FIGURE 7

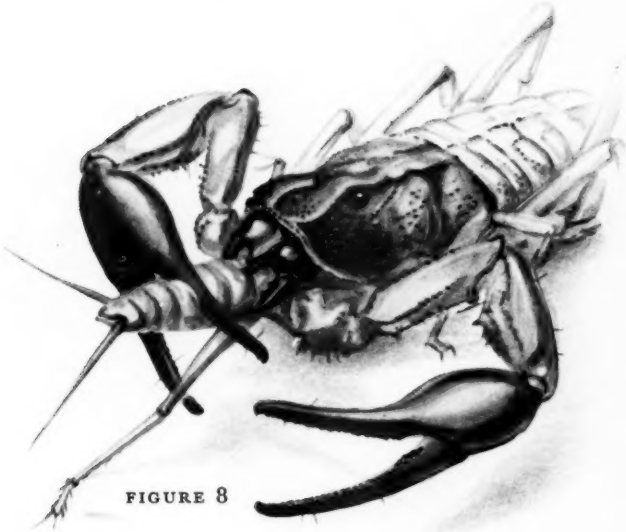


FIGURE 8

FIGURES 7 et 8 – *Deux attitudes d'*Androctonus australis (*L*) hector *C. L. Koch.*

(7) *Capture et anesthésie de la proie.*

(8) *La proie est consommée, tenue par une seule pince et par les deux chélicères.*

Gaillard. M

FIGURE 9 – *La pariade, position dite de «l'arbre droit» (selon les données de J. H. Fabre et des observations personnelles) prélude à l'accouplement chez* Buthus occitanus *(Am.), le scorpion du Languedoc français; la femelle est à gauche.*

normale. On peut, sans danger, les immerger, des journées entières, obturer 7 poumons sur 8 et ramener ainsi l'appareil respiratoire au 1/8 de ce qu'il est normalement [4]. Cet animal a donc en lui d'étonnantes disponibilités d'hématose et, à l'opposé, un coefficient respiratoire extrêmement réduit. De plus, il bouge peu, se déplace lentement et donc consomme peu d'énergie. Enfin le scorpion peut, en quelques heures, se gorger de nourriture tout comme il peut rester des mois, plus d'une année même, sans s'alimenter. A notre avis, les scorpions sont l'exemple frappant d'animaux dont l'ancienneté et la stabilité proviennent, non de ce qu'ils ont toujours vécu dans les mêmes conditions d'existence, mais de ce qu'ils ont eu les possibilités d'annihiler les transformations, même considérables, de leur milieu, par leur vie souterraine d'une part et, d'autre part, grâce à d'étonnants moyens physiologiques leur permettant de se mettre en vie ralentie ou en activité intense et rapide. L'excès en tout semble possible pour cet animal et cela, en définitive, lui confère une réelle indépendance vis-à-vis de son milieu de vie et surtout de ses variations. C'est, pour lui, le plus sûr garant de sa pérennité.

CAPTURE ET PERCEPTION DES PROIES

En repos ou en «sommeil» (figure 5), le scorpion est immobile, face ventrale contre le sol, queue recourbée et à plat, pattes repliées. Mais lorsque la faim le tenaille ou qu'il a détecté une proie, son attitude alors se modifie; dressé sur ses pattes postérieures (figure 6), les tarses sur le sol, pinces étendues et doigts ouverts, il marche lentement, la queue relevée très haut et recourbée vers l'avant. Souvent, le scorpion s'arrête et la capture de la proie paraît inattendue et non calculée; ses attaques paraissent incertaines, il semble plutôt se défendre qu'attaquer. Si les proies sont rapides et lui passent sur le corps, il recule, se recroqueville mais patiemment, passivement, attend et toujours arrive à saisir sa victime. Alors, surtout si elle se défend, il enfonce son aiguillon (figure 7), là où il peut le faire, souvent sans tâtonner et la proie, toujours tenue par une ou deux pinces est vite amenée aux chélicères; celles-ci s'en saisissent, le doigt fixe pénètre dans la victime et cause de profondes blessures que les mouvements de cisaille des chélicères agrandissent. Le contenu de la proie s'échappe et coule entre les chélicères et remplit le vestibule buccal. En tout cela, les chélicères jouent le rôle essentiel; elles broient les tissus, les chitines; peu à peu, la proie diminue de volume, disparaît entre les chélicères pour ne former bientôt qu'un amas de substances non absorbables et qui, parfois, tant elles sont gênantes, sont extirpées à l'aide des pinces, véritables cure-dents.

Il est fort difficile de préciser comment un scorpion perçoit ses proies. Cet animal, certes, a des yeux mais de qualité médiocre et qui ne donnent que de grossières images. De plus, le scorpion est un animal nocturne et les impressions visuelles ne peuvent et ne doivent jouer qu'un faible rôle. Il faut envisager, pour la perception des proies, d'autres organes de détection et particulièrement les nombreuses soies sensorielles, les trichobothries, qu'on ne trouve que sur les pattes-mâchoires (figures 10 et 12): leur stabilité, leur constance dans tout l'ordre revêtent une grande importance pour le classificateur. Les trichobothries sont très reconnaissables à leur cupule d'insertion, ressemblant à la margelle d'un puits (figure 11), à la finesse de leur soie, la minceur de la membrane articulaire qui les relie au tégument; la richesse de leur innervation les doue d'une très grande sensibilité aux vibrations et elles peuvent ainsi enregistrer le moindre souffle d'air et donc celui des proies. Ce sont à vrai dire de minuscules radars, disposés dans toutes les directions et répartis régulièrement tout au long de ces gigantesques antennes de prospection que sont les pattes-mâchoires en extension.

LA DIGESTION EXTÉRIEURE DES PROIES

Le besoin qu'a le scorpion de triturer sa proie, de la malaxer avant de la manger, vient de ce que la construction de ses pièces buccales ne lui permet que l'absorption de liquides. Son tube digestif possède un puissant œsophage à parois musclées, véritable pompe qui aspire le contenu de la proie et le refoule ensuite dans l'énorme intestin moyen, masse glandulaire à l'intérieur de laquelle tout est transformé et assimilé.

La particularité de la digestion chez le scorpion ne vient pas de ce que ces animaux sucent leurs proies mais la digèrent à l'extérieur de leur corps grâce à de puissantes diastases expulsées périodiquement au cours du repas (ce qui existe aussi chez d'autres Arachnides). Lorsque le scorpion mange, à tout instant l'aspiration cesse et des liquides sont refoulés, provoquant souvent le regonflement de la victime et sa dissociation. Il semble que ces liquides proviennent de l'intestin moyen, richement glandulaire et qu'ainsi le scorpion, au cours de son repas, régurgiterait périodiquement sa bile. L'étude de la digestion externe d'autres Arachnides (araignées et pseudoscorpions par exemple) nous conduit à penser que la

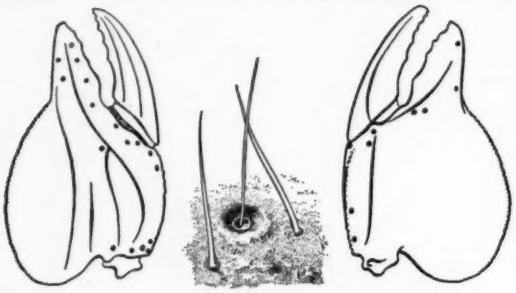


FIGURE 10 FIGURE 11 FIGURE 12

FIGURE 10 – *Pince de la patte-mâchoire de* Scorpio maurus *L (scorpion d'Afrique du Nord, vivant dans un terrier), vue par sa face externe afin de montrer l'emplacement des soies sensorielles ou trichobothries.*

FIGURE 11 – *Une trichobothrie, très grossie, entre deux soies ordinaires.*

FIGURE 12 – *Même pince, vue de la face interne.*

dissociation des tissus de la proie est due, non seulement aux liquides intestinaux régurgités, mais aussi, et surtout, à l'apport de sécrétions de glandes spécialisées — comparables aux glandes salivaires d'autres animaux — injectées dans ou sur le proie, en l'occasion de ce reflux liquide et dans certains cas par le venin lui-même (araignées). C'est pourquoi, dans une note récente [8], nous avons souligné que la fonction venimeuse doit être envisagée, non seulement dans la capture des proies, mais surtout dans ses rapports avec la nutrition; elle n'est, à vrai dire, qu'un élément souvent le seul connu de ce complexe physiologique qu'est la digestion externe. Le venin, même chez un scorpion, participe à ce complexe et non seulement inhibe la résistance de la proie mais certainement aide, par certains de ses éléments, à sa transformation et à son histolyse.

LA REPRODUCTION ET L'ALIMENTATION EMBRYONNAIRE

Chez les scorpions, les sexes sont séparés et, sauf de petites différences, les mâles ressemblent beaucoup aux femelles. La fécondation, qui nécessite un rapprochement des deux sexes, est accompagnée de curieux préludes; Maccary [2] et Fabre [1], nous les ont révélés et c'est pourquoi nous n'insisterons pas sur les curieuses «promenades à deux» où mâle et femelle cheminent, face à face, en se tenant par les mains, ni sur la curieuse position dite de «l'arbre droit» (figure 9), les deux scorpions semblent lutter. Les conclusions de ces danses n'ont pas été vues. Cependant, les recherches anatomiques que nous avons faites confirment les vues des anciens auteurs: le mâle féconde directement la femelle; il y a accouplement, ce qui n'existe pas chez bien d'autres Arachnides. Au cours de cet accouplement, le mâle, dévaginant l'extrémité distale d'organes particuliers, normalement invaginés, construit un pénis provisoire dont il se sert pour injecter ses spermatophores et déposer ensuite, la fécondation terminée, un bouchon vaginal, véritable hymen post-nuptial [9].

Le développement des ovules fécondés est extrêmement différent suivant que les œufs (comme chez les *Buthidae*) sont riches en vitellus ou (comme chez les *Scorpionidae*) en sont totalement dépourvus. Dans le premier cas, les ovules fécondés tombent très tôt dans les oviductes et y poursuivent leur développement, n'utilisant pour cela que le vitellus dont ils sont remplis; dans le second cas, par contre, l'ovule fécondé reste sur place et contracte avec les tissus maternels des rapports si étroits et si spéciaux qu'ils laissent rêveur celui qui les constate. Chaque embryon (figures 14–16), en fin de développement, se trouve logé dans un diverticule prolongé d'un appendice traversé d'un tube axial enroulé. Cet appendice, à parois glandulaires, véritable cordon ombilical, est appliqué aux parois de l'intestin maternel dont il puise, par osmose, le contenu alimentaire, le transforme et, par l'intermédiaire de son conduit axial, l'amène jusqu'à la bouche même de l'embryon. Cet

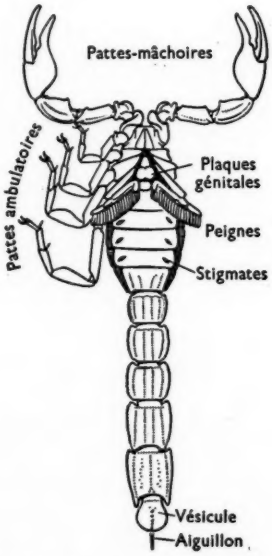


FIGURE 13 – Androctonus australis (*L*); *femelle vue par la face ventrale afin de montrer les diverses parties du corps; longueur totale:* 8 *cm.*

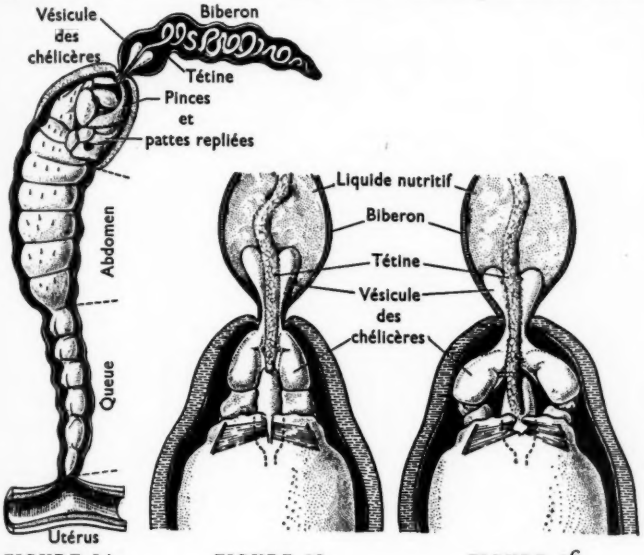


FIGURE 14 FIGURE 15 FIGURE 16

FIGURES 14–16 – *Embryons d'*Ischnurus ochropus *C. L. Koch, scorpion d'Afrique orientale.*

(14) *Diverticule de l'utérus contenant l'embryon et prolongé distalement de son appendice ou biberon.*

(15 et 16) *Coupes horizontales, schématiques, de la région antérieure du diverticule montrant les rapports entre les chélicères (et leur organe vésiculeux) de l'embryon et la tétine, canal axial du biberon, celle-ci, par mouvement des chélicères, pouvant être amenée près de la bouche embryonnaire (figure 16).*

appendice mérite bien le nom de biberon et l'extrémité du conduit axial, celui de tétine car, en fait, et A. Mathew [3] l'a constaté, le petit scorpion, dont le pharynx est déjà bien formé, tète et aspire ainsi le liquide maternel. Les chélicères de l'embryon, prolongées d'une vésicule contractile, saisissent entre elles la tétine et peuvent même l'amener jusqu'à la bouche [7]. Chez les scorpions, apparemment et extérieurement tous semblables, il peut exister, intérieurement, de profondes différences puisque, chez les uns, l'embryon vit seul, sans secours alimentaire maternel alors que, chez d'autres, son alimentation est réalisée par un système complexe, résultant d'une coaptation entre les tissus maternels (biberon et tétine) et ceux de l'embryon (chélicères et organes vésiculeux).

CONCLUSIONS

Les scorpions, malgré leur ancienneté puisque leurs fossiles remontent aux temps primaires, malgré leur constance morphologique puisque depuis des centaines de millions d'années, leur architecture essentielle est restée sans changements et fait qu'on les nomme fossiles vivants, n'en sont pas moins des animaux très évolués. La complexité de leur appareil digestif et des processus de la digestion dont une phase se déroule à l'extérieur du scorpion, l'alimentation curieuse des embryons au cours de la gestation nécessitant une coaptation surprenante entre l'embryon (avec ses vésicules chélicériennes) et la mère (avec son biberon et sa tétine), tout cela dénote une évolution anatomo-morphologique très poussée. Et il en est de même dans le domaine psychique. La capture des proies facilitée par des soies sensorielles de structure complexe, véritables micro-radars, les danses nuptiales, l'accouplement, tout cet ensemble dont nous n'avons esquissé que les grandes lignes, témoigne d'un psychisme très évolué. L'écologie elle-même révèle une réelle plasticité conférant aux scorpions une étonnante résistance aux perturbations extérieures et donc une grande adaptation. Les scorpions sont l'exemple de ces lignées animales qui, très tôt, ont atteint un haut degré de perfection morphologique et psychique; ils ont pu, ainsi, continuer de vivre, sans changer, sans dégénérer et sans disparaître, mais aussi sans donner naissance à d'autres lignées.

BIBLIOGRAPHIE

[1] FABRE, J. H. «Souvenirs Entomologiques». J. H. Delagrave, Paris. 1923.

[2] MACCARY, A. «Mémoire sur le Scorpion qui se trouve sur la Montagne de Cette». Gabon, Paris. 1810.

[3] MATHEW, A. P. *Proc. Indian Acad. Sci.*, **27**, 4, 111, 1948.

[4] MILLOT, J. et PAULIAN, R. *Bull. Soc. zool. Fr.*, **58**, 97, 1943.

[5] PETRUNKEVITCH, A. *Syst. Zool.* **1**, 1, 1952.

[6] *Idem. Amer. Scient.*, **40**, (1), 99, 1952.

[7] VACHON, M. *Arch. Zool. exp. gén.*, **86**, 3, 137, 1950.

[8] *Idem. C.R. Acad. Sci., Paris*, **233**, 205, 1951.

[9] *Idem.* «Etudes sur les Scorpions». Institut Pasteur d'Algérie. 1952.

[10] *Idem*, en «Traité de Zoologie» de P.-P. GRASSÉ, **6**, 386, 1949 (en collaboration avec J. MILLOT). Masson, Paris.

Les polyélectrolytes

A. KATCHALSKY

L'auteur décrit ses recherches sur certains polyélectrolytes synthétiques, notamment, les acides polyacryliques. Les réactions de ceux-ci ont déjà été utilisées en agriculture. En biologie, on a reconnu (1) que l'action réciproque entre polyélectrolytes acides et basiques joue un grand rôle dans la défense biologique contre les microorganismes étrangers et (2) que l'influence des champs électriques sur la forme des molécules a une portée considérable, car elle représente la transformation de l'énergie chimique en effet mécanique.

Au moment où l'enthousiasme soulevé par la découverte des phénomènes colloïdaux commençait à s'affaiblir et «ce monde aux dimensions négligées» comme l'appelait Ostwald risquait de tomber dans l'oubli, les progrès de la chimie des polymères a donné un élan nouveau à la recherche colloïdale.

Vers 1930 Staudinger et son école [1] avaient appris à considérer les unités des polymères organiques synthétiques non comme des agrégats colloïdaux de petites molécules mais comme de très longues molécules ayant des dimensions colloïdales et unies par des liaisons chimiques. D'après eux le polymère doit ses propriétés non aux micelles mais plutôt aux caractéristiques remarquables des molécules en forme de chaînes. Cette idée féconde, qui est à la base de toute la recherche sur les plastiques a fortement influencé aussi nos conceptions actuelles sur la nature des colloïdes biologiques et l'organisation des tissus et des cellules.

En raison de l'expansion rapide de l'industrie des plastiques l'attention des chimistes s'est concentrée sur les polymères non-polaires insolubles dans l'eau et chimiquement peu réactifs. Ce n'est que depuis cinq ans qu'on s'est intéressé aux polymères solubles, apparentés aux biocolloïdes. On n'a fait qu'explorer leurs possibilités industrielles, mais leur comportement remarquable, que nous allons décrire, présente un intérêt théorique si marqué qu'il méritait bien d'être exposé à un public plus vaste.

Parmi les biocolloïdes les polymères porteurs de charges électriques sont particulièrement importants. On y rencontre les protéines, qui ont des charges positives et négatives; les protamines, qui sont surtout négatives; d'innombrables acides négatifs en longue chaîne tels que les acides nucléique, pectique et alginique; et nombre de polyacides d'origine bactérienne. On appelle électrolytes polymériques ou polyélectrolytes toutes ces molécules en chaîne où sont combinées les propriétés des polymères et des électrolytes.

Notre article traite principalement des polyélectrolytes synthétiques les plus simples où se répètent un ou deux groupes porteurs de radicaux ionisables. Comme polyélectrolytes synthétiques typiques citons les acides polyacryliques dont la formule est

$$-CH_2-\underset{\underset{COOH}{|}}{CH}-CH_2-\underset{\underset{COOH}{|}}{CH}-CH_2-\underset{\underset{COOH}{|}}{CH}-CH_2-.$$

Staudinger et ses collègues les ont déjà étudiés; les polyamines du type de la polyvinylamine,

$$-CH_2-\underset{\underset{NH_2}{|}}{CH}-CH_2-\underset{\underset{NH_2}{|}}{CH}-CH_2-,$$

et les copolymères amphotériques composés de monomères acides et basiques.

Si ces produits synthétiques n'ont pas la structure changeante des biocolloïdes, ni la même versatilité et la multiplicité de réactions physiques, chimiques et biologiques, leur simplicité est un avantage pour le chercheur et pourrait bien l'aider à comprendre le comportement des biocolloïdes.

PHÉNOMÈNES OSMOTIQUES

Le caractère particulier des polyélectrolytes se manifeste le mieux en solution aqueuse. En effet, si l'on neutralise partiellement une solution aqueuse d'un acide ou d'une base polymérique par une base ou un acide minéral, selon le cas, la solution obtenue se distingue nettement des solutions d'électrolytes ou de polymères ordinaires tant par ses propriétés osmotiques et viscométriques que par son action sur d'autres électrolytes.

Nous envisagerons d'abord l'action directe du champ électrostatique du polyélectrolyte. Il est évident, a priori, que l'énorme concentration de groupes ionisés — il peut y en avoir plus de dix mille sur une seule chaîne — va créer autour de la

molécule du polymère un champ électrostatique intense qui influencera les autres charges électriques du milieu ambiant. Les molécules du polymère vont exercer une forte attraction sur les petits ions de signe contraire, ceux de sodium par exemple, qui entourent les polyacides ionisés, et vont restreindre de façon sérieuse leur liberté de mouvement dans la solution. La contribution osmotique de ces ions sera réduite de ce fait; on comprendra donc que la pression osmotique des solutions de polyélectrolytes soit beaucoup moindre que celle des solutions idéales. La démonstration expérimentale de cette conclusion est indiquée par la figure 1. On y voit que l'écart entre la pression osmotique du polyélectrolyte et celle d'une solution idéale augmente avec le degré d'ionisation et que, lorsque l'ionisation est très forte, cette pression n'atteindra parfois pas plus du cinquième de la pression idéale.

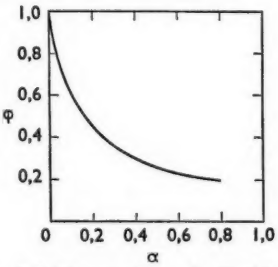


FIGURE 1 – *Activité osmotique de l'acide polyacrylique neutralisé à divers degrés* (α) *par la soude caustique.* φ *est le rapport des pressions osmotiques expérimentale et idéale* [12].

Quand on mesure les coefficients d'activité, c'est-à-dire l'équivalent de la concentration dans des solutions réelles, on obtient des résultats correspondants; l'activité des ions contraires diminue en présence des polyélectrolytes ionisés. La figure 2, basée sur de nouvelles méthodes de mesure, montre que l'activité des ions contraires diminue quand l'ionisation augmente. Par contre, l'addition de sels neutres amortit l'effet du polyélectrolyte et peut même l'annuler si la quantité est élevée; l'activité des ions contraires tend alors vers celle du sel dans des solutions dépourvues de polyélectrolyte. La raison de ce phénomène est que les ions du sel se groupent autour des molécules du polyélectrolyte, neutralisent son champ et, par conséquent, l'effet de ce champ.

ACTION RÉCIPROQUE DES POLYÉLECTROLYTES

D'après des calculs faits dans notre laboratoire, un polyacide complètement ionisé exerce sur un

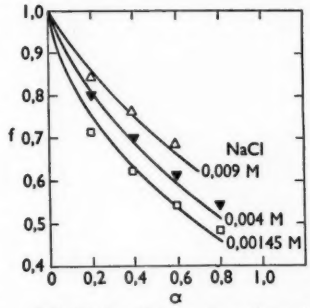


FIGURE 2 – *Activité du chlorure de sodium dans des solutions aqueuses d'acide polyméthacrylique ionisé. La concentration de l'acide est fixe,* 0,05 *M. Les concentrations du chlorure de sodium sont* Δ 0,009 *M;* ▼ 0,004 *M; et* □ 0,00145 *M;* α *est le degré d'ionisation de l'acide polyméthacrylique;* f *est le rapport de l'activité du sel en présence du polyélectrolyte à l'activité du sel dans une solution dépourvue de polyélectrolytes* [2].

ion monovalent une attraction équivalente à une énergie de 2,5 Kcal/ion-mole, soit environ 4 fois l'énergie thermique des ions. Comme l'attraction augmente rapidement avec la valence des ions contraires on ne doit pas s'étonner des réactions remarquables qui ont lieu lorsque des polymères ionisés se trouvent en présence d'ions polyvalents.

L'application récente de ces réactions à des problèmes agricoles pratiques a donné des résultats très encourageants. Ainsi que la théorie l'avait prédit, l'acide polyacrylique ionisé réagit vigoureusement avec les particules de terre et provoque la formation de mottes plus grandes. Cette agglomération améliore fréquemment la texture des sols lourds et augmente la fertilité des sols peu aérés et plutôt imperméables. Une telle application des sels solubles de l'acide polyacrylique et polyméthacrylique ouvre une ère nouvelle pour l'agriculture et marque l'entrée des polyélectrolytes dans le domaine pratique.

Quand deux molécules de polyélectrolytes de signe opposé se rencontrent il se produit une réaction plus énergique encore. Ce genre de réaction se démontre facilement dans un tube à essai et provoque la précipitation mutuelle des deux électrolytes. Ce phénomène a en outre une importance exceptionnelle dans l'organisation de la structure biologique. On en rencontre des exemples typiques dans l'action mutuelle des protéines du cytoplasme, celle de l'acide hyaluronique et d'autres sucres acides avec le collagène du tissu conjonctif, ou encore celle des protamines et des histones avec les acides nucléiques des chromosomes. On se doutait qu'une des formes les plus primitives et les plus fondamentales de la défense

biologique contre les microorganismes étrangers reposait sur l'action mutuelle entre les polyélectrolytes acides et basiques. La confirmation en a été donnée par Bloom, Cromartie et leurs collègues [3] qui découvrirent que le bacille anthrax produit de l'acide polyglutamique, un polyélectrolyte négatif typique, qui est neutralisé *in vivo* par le «constituant des tissus» engendré par les leucocytes. Ce constituant est un polyélectrolyte positif qui semble très apparenté à la polylysine synthétique [4]. Cette découverte donne une base nouvelle à la théorie des antibiotiques, l'action mutuelle de polyélectrolytes au lieu des facteurs antimétaboliques.

Notons aussi que les polyélectrolytes basiques réagissent avec la surface des cellules car la plupart d'entre elles portent une charge négative. Ainsi on peut précipiter les bactéries des suspensions d'*Escherichia coli* et de *Micrococcus aureus* en y ajoutant de la polylysine à des concentrations n'excédant pas 10 µg/ml. Des mesures récentes [5] nous ont montré que la presque totalité des molécules du polyélectrolyte basique s'attachent à la surface des bactéries: le potentiel électrostatique des cellules s'amoindrit ainsi que leur stabilité en solution et la coagulation et la précipitation s'ensuivent. La figure 3 donne les résultats d'une expérience typique: on y voit l'attachement de la polylysine à la surface des bactéries.

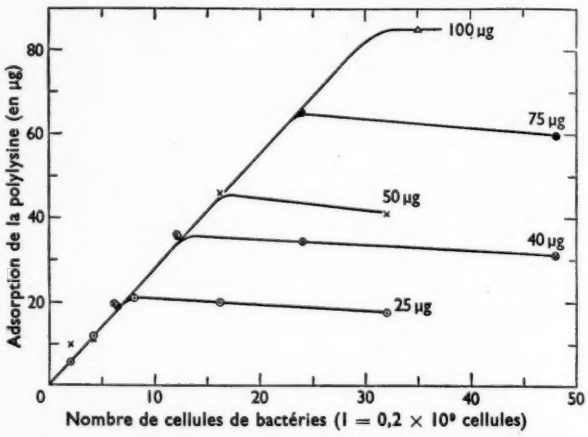


FIGURE 3 – *Adsorption de la polylysine sur l'*E. coli. *On a introduit des quantités de bactéries dans des solutions de polylysine (contenant* ○ 25 µg/ml; ⊗ 40 µg/ml; × 50 µg/ml; ● 75 µg/ml *et* Δ 100 µg/ml). *L'adsorption procède d'abord de façon linéaire, tandis que chaque bactérie se recouvre complètement de polylysine. Lorsque la presque totalité de la polylysine est adsorbée les courbes s'aplanissent parce que l'adsorption a cessé* [5].

Nous sommes en train d'examiner les déductions pharmacologiques de ces phénomènes.

DYNAMIQUE DE LA FORME MOLÉCULAIRE

Après avoir vu les effets directs du champ électrostatique des molécules de polyélectrolytes sur leur environnement nous pouvons considérer l'effet des facteurs électrostatiques sur les caractéristiques spécifiquement polymériques de ces molécules.

Dans l'étude ordinaire on mesure généralement d'abord la viscosité du polymère dissous. Le quotient de la viscosité spécifique[1] par sa concentration nous renseigne sur sa forme, et, indirectement, sur son poids moléculaire. Des mesures de la viscosité des polyélectrolytes montrent qu'elle varie fortement suivant le degré d'ionisation. D'après les concepts de la chimie polymérique la forme moléculaire varie avec le champ électrostatique. La figure 4 représente une série de courbes [6] de la viscosité d'une solution aqueuse d'acide polyméthacrylique à divers degrés d'ionisation. Les courbes obtenues pour six polymères ayant des poids moléculaires différents montrent que la viscosité spécifique atteint rapidement une limite supérieure lorsqu'on augmente l'ionisation jusqu'à 30% environ. Comme la viscosité des molécules augmente avec leur longueur on en conclut que le champ étire progressivement les molécules jusqu'à leur extension maximum.

Du point de vue quantitatif, la viscosité spécifique pour un degré d'ionisation faible et constant est directement proportionnelle à la racine carrée du poids moléculaire. D'après la théorie les chaînes des polymères peu dissociés sont presque sphériques, tant elles sont entortillées sur elles-mêmes. Si on mesure la viscosité pour une ionisation de 10 à 20% on trouve que dans cette région elle est directement proportionnelle au poids moléculaire. Théoriquement cette nouvelle relation entre le poids moléculaire et la viscosité indique que les molécules sont devenues des serpentins flexibles et bien rinsés. Il s'ensuit qu'une ionisation de 0 à 15 ou 20% suffit pour ouvrir les serpentins moléculaires et les rendre parfaitement flexibles. Finalement, la viscosité devient proportionnelle au carré du poids moléculaire lorsque l'ionisation est plus

[1] La viscosité spécifique est donnée par le rapport $(\eta_s - \eta_0)/\eta_0$, où η_0 est la viscosité du solvant et η_s la viscosité de la solution de polymère.

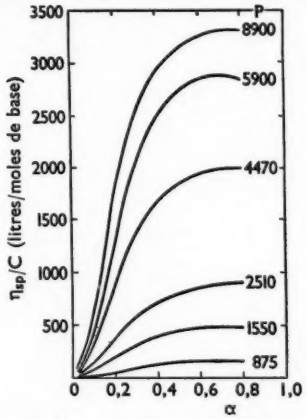


FIGURE 4 – *Variation du quotient de la viscosité spécifique* (η_{sp}) *par la concentration* (C) *avec le degré d'ionisation* (α) *pour six acides polyméthacryliques possédant des degrés de polymérisation différents* (P). *Les degrés de polymérisation, ou nombre de molécules simples par macromolécule sont respectivement* 875, 1550, 2510, 4470, 5900 *et* 8900. *Le poids moléculaire d'un monomère est* 86, *donc le poids moléculaire du polymère est* P × 86. *La concentration de l'acide polymérique est de* 0,01 *monomole* [6].

élevée. En théorie ceci indique que les molécules sont maintenant tout à fait étendues comme de fines tiges ou des filaments.

En bref, l'influence du champ électrostatique s'exerce donc non seulement sur les ions extérieurs mais aussi sur la forme des molécules mêmes.

Chez les polymères non-polaires, le seul facteur qui puisse influencer la forme est le mouvement brownien. Les chocs dus à l'énergie thermique du milieu ambiant provoquent la rotation des segments moléculaires autour des liaisons chimiques, et la molécule est capable d'adopter toutes les formes qui lui sont imposées; la plus probable est celle d'un serpentin irrégulier. Le façonnage des molécules d'un polyélectrolyte dépend tant du mouvement brownien que de la répulsion électrostatique. La forme atteinte provient de l'équilibre entre l'enroulement thermique, d'une part, et la répulsion mutuelle de charges de même signe, de l'autre. Lorsque l'ionisation est peu marquée les forces électrostatiques sont trop faibles pour surmonter l'enroulement thermique, mais quand elle est suffisante ces forces parviennent à détendre presque entièrement les molécules. Ce processus est d'ailleurs absolument réversible: si on neutralise les charges du polyacrylate de soude, par exemple, avec un acide minéral, les molécules vont s'entortiller sur elles-mêmes et reprendront leur forme initiale.

CHIMIE MÉCANIQUE

Ces phénomènes où l'ionisation entraîne des expansions et des contractions de la molécule ont une portée générale considérable. Nous avons ici, à l'échelle de la molécule, un modèle pour étudier la transformation directe de l'énergie chimique de neutralisation en énergie mécanique. Le pas suivant était donc d'essayer d'amplifier ces mouvements moléculaires pour pouvoir les observer à l'échelle macroscopique. En vérité la nature nous fournit un tel mécanisme, puisque c'est une transformation chimique qui fait se contracter et se détendre les muscles et toutes les autres parties mobiles des êtres vivants. Il était intéressant de voir si les systèmes de polyélectrolytes synthétiques se comporteraient à l'échelle macroscopique comme ils le font en solution. Les systèmes ayant le plus de chances de le faire sont les gels à liaisons croisées.

Un gel polymérique est un réseau moléculaire imbibé de liquide. Comme les jonctions sont capables de transmettre les effets mécaniques, le réseau est une structure solide. Il était donc raisonnable de supposer que dans les gels polyélectrolytes cette structure transmettrait les effets mécaniques de l'ionisation et de la désionisation qui se manifesteraient par des expansions et des contractions de l'ensemble.

Mus par cette idée, divers chimistes se sont mis à préparer des gels de polyacides synthétiques. On trouva que l'addition d'alcali détend ces gels, tandis que les acides minéraux les font se contracter. Kuhn [7] a préparé des gels à liaisons croisées en chauffant de l'acide polyacrylique avec des alcools polyvalents en vue d'obtenir un certain degré d'estérification. Nous avons préparé les nôtres en provoquant la copolymérisation de l'acide méthacrylique au moyen d'agents qui provoquent les liaisons croisées tels que le benzène divinyle [8]. Nous avons observé que les gels de polyphosphate, obtenus par l'introduction d'acide phosphorique dans l'alcool polyvinyle à liaisons croisées, atteignent jusqu'à trois fois leur longueur en milieu alcalin; ils se contractent complètement à nouveau en milieu acide minéral [9]. Certains auteurs trouvent que le mécanisme de ces gels ressemble à l'action musculaire [10].

Si l'on suspend un poids à un fil de cette matière il monte et descend avec la contraction et l'expansion: le gel effectue donc un vrai travail mécanique. Le gel transforme en énergie mécanique une partie de l'énergie libérée par la neutralisation, c'est un moteur mécano-chimique très simple.

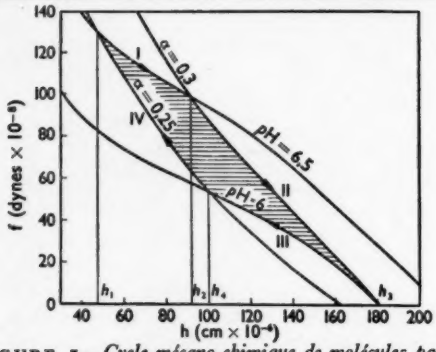


FIGURE 5 – *Cycle mécano-chimique de molécules parallèles d'acide polyméthacrylique ayant un degré de polymérisation de* 10 000. *Le cycle fonctionne à température constante entre les degrés d'ionisation* 0,25 *et* 0,30 *et des* p*H compris entre* 6 *et* 6,5. f *est la force en dynes par molécule, et* h *est la longueur de la molécule (d'un bout à l'autre). La zone hachurée représente le travail mécanique obtenu dans le cycle grâce à la différence de potentiel chimique aux deux* p*H* [6].

Bien que cette transformation soit parfaitement réversible dans le sens thermodynamique du mot, les systèmes mécano-chimiques obtenus jusqu'ici n'ont permis de transformer qu'une faible proportion de l'énergie chimique en travail utile, parce que l'extensibilité des molécules est limitée.

La figure 5 représente un cycle mécano-chimique simple pour un gel polyacide anisotropique; c'est un cycle de compression qui ressemble un peu au cycle de Carnot [6], mais il est isothermique et tire sa source d'énergie de la différence dans le degré d'ionisation, tandis que le cycle de Carnot fonctionne grâce à une différence de température.

Le fait que le rendement des systèmes de gels est restreint s'explique en partie par l'isotropie de tous les modèles actuels. L'analyse théorique démontre qu'il doit y avoir plus de possibilités mécano-chimiques avec des gels anisotropiques ayant leurs molécules parallèles et capables de se détendre et de se contracter le long de leur axe sans changer de volume. Il est vrai qu'à cet égard la belle anisotropie des fibres musculaires prouve l'efficacité du tissu vivant.

Le système dynamique des formes particulier aux polyélectrolytes n'est qu'un des canaux par lesquels on peut transformer l'énergie chimique en énergie mécanique dans des édifices macromoléculaires. Au cours des dernières années on a examiné d'autres réactions polymériques et petit à petit on a trouvé comme sources possibles de transformations mécano-chimiques non seulement la répulsion électrostatique, mais aussi l'attraction de van der Waals, les liaisons hydrogène et les tendances à la cristallisation [11].

De tous ces travaux une science générale s'est édifiée, la chimie mécanique, une science à laquelle la recherche sur les polyélectrolytes a apporté sa contribution.

BIBLIOGRAPHIE

[1] STAUDINGER, H. «Die hochmolekularen organischen Verbindungen». Springer. Berlin, 1932.
[2] KATCHALSKY, A. et LIFSON, S. (mesures de O. KEDEM). *J. Polym. Sci.* Sous presse.
[3] CROMARTIE, D. W., BLOOM, W. L., HECKLY, R. J., MCGHEE, W. J., et WEISSMAN, N. J. *J. infect. Dis.*, **80**, 121, 1947.
[4] KATCHALSKY, E., GROSSFELD, I., et FRANKEL, M. *J. Amer. chem. Soc.*, **70**, 2094, 1948.
[5] BICHOVSKY-SLOMNITZKY, L. Communication privée.
[6] KATCHALSKY, A. *J. Polym. Sci.*, **7**, 393, 1951.
[7] KUHN, W. *Experientia*, **5**, 318, 1949.
KUHN, W., HARGITAY, B., KATCHALSKY, A., et EISENBERG, H. *Nature, Lond.*, **165**, 154, 1950.
[8] KATCHALSKY, A. *Experientia*, **5**, 319, 1949.
[9] KATCHALSKY, A. et EISENBERG, H. *Nature, Lond.*, **166**, 269, 1950.
[10] MORALES, M. et BOTTS, J. *Trans. Faraday Soc.*, 1952. Sous presse.
[11] PRYOR, M. G. M. *Progr. Biophys.*, **1**, 216, 1950.
[12] KERN, W. *Z. phys. Chem.*, A, **181**, 249, 1938.

L'effet Szilard-Chalmers

A. G. MADDOCK

L'auteur passe en revue les origines des transformations chimiques qui accompagnent une réaction nucléaire. Etude du phénomène de recul qui est à la base de cet effet. Remarques sur les émissions d'électrons de conversion interne et sur les effets du ralentissement de l'atome en recul, particulièrement prononcé dans les liquides, notamment dans les halogénures organiques. Effets du recul dans les solides.

Les effets chimiques directs des transformations radioactives ont trois origines différentes possibles.

(I) L'émission de particules ou de photons entraîne un recul du noyau désintégré, de façon à conserver la quantité de mouvement du système. Déjà peu après la découverte de la radioactivité, on observait les effets mécaniques du recul qui accompagne l'émission de particules lourdes [1]. Il est particulièrement important, lors de l'émission de particules alpha, et peut se traduire par une pseudo-volatilité de la substance active; l'atome en recul est doué d'une énergie individuelle suffisante pour entraîner plusieurs atomes radioactifs non-désintégrés qui l'entourent [2]. On a utilisé la séparation physique due au recul entre substance-mère et substance-fille, lorsque la source est disposée convenablement, pour séparer les termes successifs des séries radioactives naturelles [3]. La photo-émission n'entraîne en général qu'un recul bien moindre. En électron-volts, son énergie s'exprime par la formule

$$E^2/2Mc^2 = 536E^2/M,$$

où E désigne l'énergie du photon (en millions d'électron-volts), et M la masse de l'atome (en unités atomiques). Néanmoins, l'énergie des photons peut être si grande, en particulier après la capture de neutrons, que l'énergie de recul reste considérable vis-à-vis de l'énergie de liaison chimique. Jusqu'à une date récente on voyait là l'origine exclusive des transformations chimiques qui accompagnent la capture de neutrons thermiques avec photo-émission, ou effet Szilard-Chalmers [4]. Mais on n'avait pas observé directement le recul. En 1951, Magnusson a mis en évidence un certain degré de séparation physique directe du produit de capture en irradiant une cible d'or très fine avec des neutrons thermiques [5]. L'atome en recul peut atteindre une énergie de translation de plusieurs électron-volts, ce qui correspondrait à l'énergie moyenne à une température de quelques dizaines de milliers de degrés.

(II) Les transformations nucléaires provoquent souvent l'ionisation de l'atome désintégré, ce qui peut être une deuxième cause de changements chimiques. Si le noyau émet des particules chargées, il peut y avoir ionisation par interaction entre la particule expulsée et la couche électronique de l'atome en désintégration. La probabilité de ce type d'ionisation est assez grande lorsqu'il y a émission de particules lourdes, chargées, comme les particules α. L'éventualité est peu vraisemblable pour une émission de photons, à moins d'une conversion interne. Dans ce dernier cas, il y a interaction directe entre les forces nucléaires et les couches électroniques orbitales, sans intervention du photon. L'électron est expulsé avec une énergie cinétique égale à celle qu'aurait eu le photon, moins son énergie de liaison initiale.

La conversion interne est favorisée par une faible énergie de désintégration, une grande variation de moment cinétique entre les noyaux père et fils, et un nombre atomique élevé. L'ionisation initiale consécutive se produit d'ordinaire dans les couches profondes K ou L de l'atome, mais le vide se comble rapidement, avec apparition de lacunes plus nombreuses sur les couches de valence par multiplication d'Auger [6]; cette ionisation consécutive amènera une décomposition, soit immédiate, soit lors de la neutralisation. Les décompositions chimiques dues aux transformations entre isomères nucléaires ont en général cette origine. La conversion interne entraîne également un recul plus important que l'émission de photons correspondante, à cause de la masse au repos finie de l'électron. Soit E l'énergie de désintégration, e l'énergie de liaison orbitale de l'électron expulsé, m la masse de l'électron, M celle de l'atome en recul, l'énergie de recul est alors donnée par l'expression $(E - e)m/M$.

Quoi qu'il en soit, il y a un cas au moins, celui de la décomposition du tellure diéthyle, lors de la désintégration de Te^{127*}, où la décomposition doit résulter uniquement de l'ionisation, puisque le recul augmenté reste encore faible vis-à-vis des énergies de liaison [7].

(III) Les transformations nucléaires s'accompagnent en général d'un certain degré d'excitation des électrons périphériques, qui peut à son tour être une cause de transformations chimiques. Quand le noyau fils a un numéro atomique différent de celui de son parent, il est vraisemblable que l'énergie libérée lors de la réorganisation des orbites électroniques produira une excitation, sinon une ionisation. Lorsque le nombre de masse change seul, — comme dans le cas de la capture de neutrons avec émission — le changement d'énergie est bien plus faible, et probablement incapable même de rompre des liaisons chimiques.

CAPTURE DE NEUTRONS AVEC ÉMISSION

Elle peut se produire avec des neutrons à tous les niveaux d'énergie. Cependant, les sections efficaces pour la capture de neutrons de plus de 100 keV sont en général très petites, et la plupart des résultats relevant de l'effet Szilard-Chalmers concernent la capture de résonance, ou de neutrons thermiques. Expérimentalement, il est bien plus difficile de séparer les effets dans ces deux domaines, et la plupart des résultats proviennent d'un mélange arbitraire de capture suivant les deux processus. Théoriquement, on peut prévoir une différence entre les deux types de capture. Le phénomène primaire de la capture de neutrons thermiques ne peut produire de recul appréciable; il n'y a pas d'autres circonstances qui puissent amener des transformations chimiques dans la molécule qui contient le noyau activé. Au contraire, dans la capture de résonance, particulièrement sur une bande de résonance élevée, par exemple, à quelques centaines d'électron-volts, le phénomène primaire peut produire un recul suffisamment énergique pour briser des liaisons chimiques.

Souvent, les molécules survivent au phénomène primaire, et la décomposition n'intervient qu'à la suite de l'émission de photon consécutive. Le noyau composé qui résulte de la capture du neutron est hautement excité, l'énergie d'excitation correspondant à l'énergie de liaison du neutron dans le noyau. Cet excès d'énergie se dissipe bientôt par émission successive de photons, jusqu'au retour au niveau fondamental. Le spectre de cette émission, et la durée de vie des états excités initiaux et intermédiaires dépendent de leur énergie et moments cinétiques. Les mêmes facteurs déterminent la probabilité de conversion interne d'une quelconque des radiations.

On n'a pu s'attaquer à l'étude du spectre de ce rayonnement que durant ces dernières années [8] et la mise en évidence avec certitude de la conversion interne du rayonnement dans certains cas est également un résultat récent [9]. L'énergie d'excitation dépasse généralement 5 MeV. La théorie statistique des niveaux d'énergie nucléaires suggère que cette énergie va se dissiper avec émission successive probable de trois ou quatre photons. Il peut y avoir deux, ou plus de deux voies de désintégration. Les résultats expérimentaux connus à ce jour montrent que la perte de la totalité de l'énergie d'excitation en un seul quantum se produit bien plus souvent qu'on ne l'imaginait pour certains noyaux composés. Cependant, le processus moyen fait intervenir l'émission d'au moins deux photons énergétiques [10].

LE PHÉNOMÈNE DE RECUL

Bien que l'émission d'un photon d'énergie connue détermine de façon unique le recul subi par l'atome émetteur, les probabilités relatives au spectre et à l'émission ne définissent pas par elles-mêmes la distribution d'énergie probable du recul résultant. Le plus souvent, le noyau émetteur subit deux ou plus de deux reculs successifs et il faut connaître la répartition angulaire et le mode de combinaison des quantités de mouvements correspondants. Les seules observations de la répartition angulaire confirment l'hypothèse habituelle de la distribution isotropique indépendante. Pour trouver le mode de combinaison approprié des quantités de mouvement de recul, il faut introduire des considérations chimiques. Si les reculs consécutifs se suivent si rapidement que l'effet de l'un d'eux ne peut être dissipé par la molécule avant le début du suivant, on est fondé à admettre une combinaison vectorielle, comme s'il y avait coïncidence. Dans l'autre cas extrême, la période des états excités peut être assez longue pour qu'on puisse considérer chaque recul comme un événement distinct.

C'est le noyau émetteur qui subit le recul, mais il se communique vite à l'atome par interaction électrostatique. Si l'atome fait partie d'une molécule, l'énergie de recul se distribue entre les degrés de liberté de translation, vibration et rotation de la molécule. La durée d'amortissement pour la dissipation de l'énergie de recul communiquée à

une molécule isolée sera donc celle des vibrations de liaison. Elle ne peut guère être moindre que 10^{-8} sec., et, malgré l'insuffisance de nos données, nous pouvons admettre que les durées de vie des états excités seront généralement bien plus courtes. Néanmoins, de faibles énergies quantiques, et de grandes variations de moment cinétique pourraient augmenter ces durées de vie. Le plus souvent, l'addition vectorielle des reculs distribués au hasard semble la méthode la plus justifiée pour le calcul du recul résultant.

Mais toute l'énergie de recul résultante n'est pas disponible pour la rupture de la liaison. On peut montrer que dans le cas de la molécule à centre de symétrie libre, il n'y a qu'une fraction $m/(M + m)$ de l'énergie de recul qui produise une excitation vibrationnelle, M désignant la masse de l'atome en recul, et m celle des atomes qui lui sont attachés [11]. Les données actuelles ne permettent pas de calculer exactement la répartition de probabilité de l'énergie de recul qui en résulte, mais on peut faire un calcul conjectural, en supposant les conditions très favorables au recul minimum. On voit alors qu'il y a moins de 5% des molécules qui ne reçoivent pas assez d'énergie pour la rupture d'une seule liaison chimique. Cependant, si l'atome activé est lié à la molécule par deux liaisons ou plus, il y a une probabilité notable pour qu'il se forme des composés où subsistent une ou plusieurs liaisons primitives. L'étude de la répartition des produits dans ces cas-là fournira peut-être une méthode expérimentale d'étude de la répartition de l'énergie de recul [12].

Le spectre de l'émission n'est en général pas le même, suivant qu'il y a capture de résonance ou de neutrons thermiques, et les deux processus conduisent à des distributions de recul différentes, tout comme la capture par différents isotopes du même élément.

CONVERSION INTERNE

L'émission de photons n'entraîne pas l'ionisation de l'atome en désintégration, et le recul consécutif est insuffisant pour provoquer l'ionisation par collision. Cependant, on a observé la formation d'atomes de brome chargés radioactifs lors de l'irradiation du bromure de méthyle avec des neutrons thermiques [13]. Ils provenaient sans doute de la conversion interne de rayons mous du rayonnement de capture. On n'a pas encore étudié le rôle joué par ces ions dans l'effet Szilard-Chalmers. Lorsqu'on a affaire à deux isotopes d'un élément, dans le même composé, on peut prévoir des différences de conversion interne, dans le spectre du rayonnement de capture, qui se traduiront par des différences d'effets chimiques. Il est remarquable que le mécanisme de conversion interne, à la différence du mécanisme de recul soit essentiellement une oxydation. Il peut donc être l'origine des phénomènes, relativement rares, d'oxydation par capture de neutrons, par exemple la formation de perrhénate par irradiation de chlorure de rhénium trivalent [14]. Dans les systèmes condensés, il peut y avoir stabilisation de l'ion positif par solvatation, et il peut persister assez longtemps pour participer à une réaction chimique. Des ions halogènes positifs, formés de cette façon jouent peut-être un rôle important dans les réactions chimiques consécutives à l'irradiation par neutrons des halogénures d'alcoyles.

RALENTISSEMENT DE L'ATOME EN RECUL

Puisque la capture de neutrons doit presque toujours rompre au moins une des liaisons entre l'atome excité et sa molécule, on peut être surpris de voir qu'une proportion mesurable des atomes actifs se retrouvent encore après l'irradiation, à leur place dans les molécules du composé de départ. On appelle cette proportion la rétention. La plupart de ces molécules actives se sont reformées pendant le ralentissement.

Tant que l'énergie moyenne transférée à chaque collision est grande vis-à-vis des énergies de liaison, la perte d'énergie par l'atome en recul se fait par des collisions approximativement élastiques avec les atomes exposés sur la surface des molécules environnantes dans le système. Ses progrès sont déterminés par les masses et les concentrations de ces atomes. Pour des énergies plus faibles, dans le domaine épithermique, il y aura probablement des collisions non-élastiques avec les molécules environnantes. Finalement, l'atome peut atteindre l'équilibre thermique avec son voisinage. Après chaque collision, l'atome peut réagir sur les molécules environnantes, ou sur les radicaux ou autres produits formés au cours des collisions précédentes. Cependant, une collision entre un atome rapide, ou épithermique, et une molécule inactive ne peut entraîner de réaction que si l'atome et le radical formé durant la collision n'ont plus assez d'énergie pour s'échapper du voisinage de la collision. L'ordre de grandeur de cette énergie critique dépend des propriétés diffusantes des molécules environnantes. La cage est bien plus solide en phase liquide que gazeuse. L'éventualité de telles réactions dépendra donc

de l'énergie moyenne perdue par l'atome en recul à chaque collision, qui dépend du rapport de masse entre l'atome en recul et les autres dans le système irradié, et des propriétés de diffusion du système.

On connaît parfois le comportement chimique de l'atome thermique, par exemple, à la suite d'études photochimiques. N'importe comment, on peut faire la distinction entre les réactions qui se produisent dans les domaines thermiques, et épithermiques ou rapides, en effectuant des irradiations à diverses températures. La population des domaines épithermiques et à grande énergie est déterminée de façon dominante par la vitesse d'apparition des noyaux en recul, et par les caractéristiques de ralentissement de la substance irradiée, si bien que les réactions des atomes en recul dans ces domaines énergétiques sont à peine influencées par la température de la substance irradiée. On est fondé alors à parler des réactions de l'atome chaud. Les réactions thermiques sont accélérées de la façon habituelle par une élévation de température, et comme la répartition des atomes actifs parmi les produits finals est déterminée par la vitesse des réactions concurrentes possibles, le rendement en produits thermiques est augmenté par une élévation de la température d'irradiation.

Parmi les réactions des atomes en recul entre en ligne de compte la resynthèse des molécules de départ. Si les atomes en équilibre thermique, ou un de leurs produits de réaction, peuvent s'échanger avec les molécules inactives, la rétention sera ou complète, ou fonction croissante du temps qui séparera la fin de l'irradiation de l'analyse du système. Alternativement, l'échange peut se produire par une réaction d'atome chaud, auquel cas la rétention est indépendante de la température.

Ce sont les gaz qui se prêteraient aux expériences les plus instructives sur ces mécanismes, particulièrement ceux où l'atome activé n'est lié à la molécule que par une seule liaison chimique. Cependant, on n'a fait que peu de recherches dans cette voie. Les rétentions mesurées dans les rares études quantitatives sont toutes très faibles. On doit s'y attendre pour l'état gazeux, car il est peu vraisemblable que l'atome reste au voisinage du radical qu'il crée par collision.

On observe des rétentions beaucoup plus grandes sur les liquides. Une proportion importante des résultats quantitatifs publiés est relative à des systèmes liquides et particulièrement à des halogénures organiques. En fait, c'est en se fondant sur ces premiers résultats que Libby a élaboré l'analyse du ralentissement résumée ci-dessus [15].

ÉTUDE DES HALOGÉNURES ORGANIQUES

C'est en irradiant de l'iodure d'éthyle qu'on a découvert l'effet Szilard-Chalmers. On peut, après l'irradiation, entraîner une fraction notable de l'iode radioactif sous forme ionique. On découvre quelques années plus tard, en employant de l'iodure de méthyle que l'activité résiduelle dans la phase organique se trouve surtout sous forme d'iodure de méthyle, bien qu'il se soit formé une quantité appréciable d'iodure de méthylène radioactif [16].

Les proportions de ces divers produits s'expliquent bien par un mécanisme de carambolage. Les collisions successives doivent réduire l'énergie de l'atome en recul à une valeur qui permette la combinaison avec le radical formé. Vraisemblablement, tel sera le cas pour les collisions avec d'autres atomes d'iode, plutôt que pour celles avec les atomes d'hydrogène, plus nombreux, mais plus légers.

Des expériences analogues avec les bromures de propyle et d'*iso*propyle semblent indiquer que l'halogénure organique radioactif se reforme totalement pendant le ralentissement, et qu'il peut y avoir une activation considérable du radical organique. L'activité retenue après irradiation de l'un ou l'autre de ces bromures apparaît sous forme de bromures de propyle et d'*iso*propyle dans des proportions sensiblement voisines. Dans ce cas, il semblerait que le radical produit par la collision acquiert assez d'énergie pour rendre l'isomérisation vraisemblable, mais pas assez pour échapper à la cage qui l'enferme avec l'atome de brome radioactif [17].

La validité de la théorie du carambolage a fait l'objet de recherches nettement plus ambitieuses, de la part de Dodson et de ses collaborateurs, aux laboratoires de Brookhaven [18]. On a étudié la répartition de l'activité en fonction de la composition du système irradié sur une série de mélanges de tétrachlorure de carbone avec du tétrachlorure de silicium, du benzène et du cyclohexane. On a déterminé séparément la rétention du tétrachlorure de carbone, le rendement en chlorures organiques et le chlore minéral. On a trouvé que la rétention d'activité sous forme de tétrachlorure de carbone diminue d'abord rapidement par addition de petites quantités d'hydrocarbures, puis ensuite, lorsqu'on poursuit l'addition, diminue bien plus lentement. Par contre, le

rendement en hydrocarbure chloré s'élève rapidement à une valeur qui devient indépendante de la concentration molaire en hydrocarbure.

Ces résultats ne sont compatibles avec la théorie du ralentissement que si l'on admet que la réaction de remplacement de l'hydrogène se situe dans un domaine énergétique plus élevé que celui dans lequel peut s'effectuer la substitution du chlore dans le tétrachlorure de carbone.

Plusieurs autres observations sont difficilement conciliables avec la théorie simple. Par irradiation de solutions d'iode, ou d'iodure d'éthyle dans l'hexane ou dans d'autres hydrocarbures, on peut obtenir des dérivés iodés de substitution avec un rendement très élevé. On a d'ailleurs effectivement songé à en faire une méthode de préparation, appelée radiosynthèse. Or, un atome d'iode ne peut transférer qu'environ 3% de son énergie à un atome d'hydrogène dans une collision directe; donc, s'il peut briser une liaison carbone-hydrogène de cette façon, il doit conserver néanmoins beaucoup d'énergie — assez, pourrait-on penser, pour s'évader loin du radical produit, si bien que la substitution de l'iode devrait être plutôt rare [19]. De plus, dans des expériences avec des composés comme CCl_3Br, il apparaît une fraction appréciable du brome actif en combinaison dans des composés de poids moléculaire supérieur à celui de CCl_2Br_2 [19]. Il est donc opportun de réviser nos idées. Dodson a fait remarquer qu'on peut abandonner la théorie du carambolage, et expliquer l'interdépendance entre concentration et rétention, qu'il a mise en évidence, par des réactions chimiques concurrentes dans le domaine épithermique. L'apparition de produits complexes, que révèlent les recherches soigneuses dans le cas de la plupart des systèmes organiques, serait due à l'interaction de deux ou plusieurs radicaux dans les régions de haute densité en radicaux.

RÉACTION DE RECUL DANS LES SOLIDES

L'irradiation des solides s'accompagne de certains des phénomènes les plus intéressants et inattendus. Les permanganates et les chromates en donnent de bons exemples. Les anions oxygénés sont brisés par le recul, et l'on retrouve ensuite le manganèse ou le chrome radioactifs répartis entre l'anion original et un dérivé de valence moins élevée. On peut extraire le manganèse séparable après dissolution des cristaux irradiés, sur un support de bioxyde de manganèse, et le chrome sous forme d'ion chromique hydraté. L'atome en recul ou le radical dans le solide doit finalement se loger dans quelque position interstitielle, ou quelque autre défaut du réseau, où il s'immobilise relativement. On ignore en général l'identité chimique de cet atome, radical ou ion. On n'a pas à présent de méthode directe d'identification. On peut seulement examiner la répartition de l'activité après dissolution des cristaux irradiés. Il y a pourtant des preuves que des ions ou des radicaux inconnus en solution peuvent être gelés dans le réseau après le recul.

On peut inférer l'existence de ces entités insolites des expériences de Libby [20] sur le permanganate de potassium. Il a montré que la rétention était fonction du *p*H de la solution où étaient dissous les cristaux irradiés. L'entité contenant le manganèse radioactif stabilisée par le réseau réagit sur l'eau de telle façon que la proportion d'ions permanganate reformés dépend du *p*H. Libby a suggéré que l'ion réactif est un dérivé du manganèse heptavalent moins oxygéné que l'ion permanganate, comme MnO_3^+ ou MnO_2^{+++}. A la dissolution, cet ion peut être réduit par l'eau en bioxyde de manganèse tétravalent, ou hydraté par les ions hydroxyles, avec reconstitution des ions permanganates. On a ainsi une explication qualitative de l'accroissement de rétention par dissolution dans des solutions à *p*H croissant, mais l'analyse quantitative des données est difficile à concilier avec ce mécanisme [21].

Naturellement, la rétention est souvent élevée dans les systèmes solides. On peut l'attribuer à six causes. La première, l'impuissance du phénomène nucléaire à produire une rupture, peut être rejetée pour les raisons déjà discutées. Parfois, à l'état solide, la dissociation d'une molécule est suivie de près par la recombinaison des fragments, s'ils ne se sont pas dispersés. Cela peut être une cause de rétention. Supposons que l'atome ou le radical en recul s'échappent du voisinage du site du réseau où a eu lieu la capture. Après dissipation d'énergie par collisions dissociantes et pénétration dans le réseau, il peut dissocier un autre ion moléculaire, et reformer un ion similaire immédiatement après, avec incorporation du groupe ou de l'atome actif. Ces deux derniers effets sont essentiellement similaires. Leur seule différence réside dans le rapport particulier entre l'ion radioactif et le site du réseau où a eu lieu la capture.

Deux autres modes de reconstitution de l'ion moléculaire initial procèdent indépendamment du ralentissement. L'entité inconnue qui se trouve dans le réseau peut se retransformer en ion

moléculaire initial par chauffage modéré ou sous l'effet de radiations ionisantes [22]. Simultanément, l'effet de celles-ci sur les ions inactifs peut être une décomposition macroscopique. Comme la plupart des irradiations de neutrons s'accompagnent nécessairement d'irradiation gamma, ces deux phénomènes contribueront en général à la rétention.

Enfin, pour mesurer la rétention, il faut dissoudre les cristaux irradiés et analyser la solution: ces opérations peuvent, dans certains cas, entraîner la reconstitution des ions de départ.

L'importance de la rétention due au chauffage est fonction de la température. Il ne semble pas y avoir une énergie d'activation unique, mais plusieurs. On peut expliquer l'accroissement de rétention d'origine thermique ou par irradiation, soit par un mécanisme de radical, soit par un mécanisme électronique. Dans le premier cas, la recombinaison thermique correspond soit à la réaction des fragments suffisamment rapprochés par diffusion, soit à la réaction de fragments avec des ions inactifs adjacents. Chaque mécanisme doit faire intervenir plusieurs énergies d'activation, suivant la nature et la position des fragments. Le chromate de potassium résiste remarquablement bien à la décomposition par irradiation. Bien qu'un rayonnement ionisant doive souvent dissocier l'ion chromate, il y a en général recombinaison. Cependant, si la dissociation a lieu au voisinage d'un fragment en recul, il peut y avoir incorporation de l'atome de chrome actif. C'est ainsi que le rayonnement ionisant peut accroître la rétention par reconstitution d'ions chromate radioactifs, pendant la réduction macroscopique simultanée des ions chromate inactifs. Par ailleurs, il est tout aussi possible d'attribuer les deux effets à des transitions électroniques, dues à la chaleur ou aux radiations ionisantes [22].

Dans la mesure où jouent les deux causes qui font intervenir la diffusion du fragment en recul, la rétention devra varier avec la structure et les paramètres de collision du cristal irradié. En fait, l'ampleur des variations dépasse les prévisions. On a comparé les rétentions dans les permanganates anhydres isomorphes de lithium, de sodium et de potassium, en maintenant les quatre autres causes constantes. Des différences de presque 20% peuvent se manifester [21]. Une telle dépendance structurale implique que la rétention dans les solides pourrait dépendre de façon critique de l'énergie moyenne de recul. Des expériences récentes ont mis ces variations en évidence. Les rétentions de deux isotopes radioactifs différents engendrées par capture de neutron avec émission, au cours d'une seule irradiation d'un solide sont différentes [23]. Ce qui est peut-être plus important, en comparant les rétentions consécutives aux réactions (n,γ) et (γ,n), on voit que le recul bien plus important qui suit la seconde correspond cependant à une rétention plus grande dans le cristal [24].

BIBLIOGRAPHIE

[1] BROOKS, H. *Nature, Lond.*, **70**, 270, 1904.
WERTENSTEIN, L. *C.R. Acad. Sci. Paris*, **152**, 1657, 1911.

[2] LAWSON, R. W. *Nature, Lond.*, **114**, 121, 1924.

[3] HAHN, O. et MEITNER, L. *Phys. Z.*, **10**, 697, 1909.
RUSS, S. et MAKOWER, W. *Proc. roy. Soc.* A, **82**, 205, 1909.

[4] SZILARD, L. et CHALMERS, T. A. *Nature, Lond.*, **134**, 462, 494, 1934.

[5] MAGNUSSON, L. B. *Phys. Rev.*, **81**, 285, 1951.

[6] COOPER, E. P. *Ibid.*, **61**, 1, 1942.

[7] SEABORG, G. T., FRIEDLANDER, G. et KENNEDY, J. W. *J. Amer. chem. Soc.*, **62**, 1309, 1940.

[8] KINSEY, B. B., BARTHOLOMEW, G. A., et WALKER, W. H. *Phys. Rev.*, **77**, 723, 1950; **78**, 77, 481, 1950.
WILSON, R. *Ibid.*, **80**, 90, 1950.

[9] HIBDON, C. T., et MUEHLHAUSE, C. O. *Bull. Amer. phys. Soc.*, **26**, 44, 1951.

[10] MUEHLHAUSE, C. O. *Phys. Rev.*, **79**, 277, 1950.

[11] STEINWEDEL, H. et JENSEN, J. H. D. *Z. Naturf.*, **2A**, 125, 1947.

[12] MADDOCK, A. G. et SUTIN, N. *Research*, **6**, 75, 1953.

[13] WEXLER, S. et DAVIES, T. H. *J. chem. Phys.*, **18**, 376, 1950.

[14] HERR, W. *Z. Naturf.*, **7B**, 55, 1952.

[15] LIBBY, W. F. *J. Amer. chem. Soc.*, **69**, 2523, 1947.

[16] GLUECKAUF, E. et FAY, J. W. J. *J. chem. Soc.*, 390, 1936.

[17] FRIEDMAN, L. et LIBBY, W. F. *J. chem. Phys.*, **17**, 647, 1949.

[18] MILLER, J. M. et DODSON, R. W. Brookhaven Natl. Lab. Conf. Chem. Effects of Nuclear Transformations. A.E.C.U., 50, 1948.

[19] GOLDHABER, S., CHIANG, R. S. H., et WILLARD, J. E. *J. Amer. chem. Soc.*, **73**, 2271, 1951.

[20] LIBBY, W. F. *Ibid.*, **62**, 1930, 1940.

[21] MCCALLUM, K. J. et MADDOCK, A. G. *Trans. Faraday Soc.* Sous Presse.

[22] GREEN, J. H. et MADDOCK, A. G. *Nature, Lond.*, **164**, 788, 1949.
GREEN, J. H., HARBOTTLE, G., et MADDOCK, A. G. Résultats non publiés.

[23] CROATTO, U., GIACOMELLO, G., et MADDOCK, A. G. *Ric. sci.*, **22**, 265, 1952.

[24] HOLMES, O. C. et MCCALLUM, K. J. *J. Amer. chem. Soc.*, **72**, 5319, 1950.

Quelques réactions animales aux variations de température

WILMA GEORGE

La vie animale n'est possible qu'à l'intérieur de certaines limites de température et, d'autre part, les facultés d'adaptation à la chaleur et au froid jouent un rôle important dans la distribution géographique des êtres vivants. Détails sur le mécanisme de l'adaptation, qui semble se conformer à certaines règles. Influence de la température sur l'action génique; les températures élevées favorisent la multiplication tant des espèces que des individus.

Les réactions chimiques qui ont lieu chez les êtres vivants varient avec la température du milieu. Ralenties par le froid et accélérées par la chaleur, elles ne suivent pourtant pas nécessairement les lois chimiques normales en ce qui concerne leurs coefficients thermiques. Les limites entre lesquelles peut exister la vie sont assez vastes. Si l'on élève la température, la mort survient à un peu moins de 50° C chez les animaux multicellulaires adultes normaux. On ne connaît pas avec exactitude le chiffre fatal aux basses températures: on sait seulement qu'il est très inférieur au point de congélation de l'eau pure. Avant d'atteindre le point critique, le gel a pour effet de ralentir les processus vitaux au minimum. On peut donc utiliser les basses températures pour conserver les tissus vivants.

Les individus réagissent souvent différemment de l'espèce quant aux effets produits sur eux par les températures extrêmes. Le froid rigoureux ralentit le métabolisme d'un organisme habitué à la chaleur et le rend incapable de se reproduire, empêchant l'espèce de s'établir dans ce climat. A l'inverse, un habitant de régions froides soumis à une chaleur considérable peut, s'il résiste assez longtemps à la transplantation, être incité à se reproduire et à implanter l'espèce dans un nouvel habitat.

L'accroissement en un temps donné dans les régions chaudes du nombre de générations animales, toutes autres conditions étant les mêmes, conduit à penser que la rapidité de divergence génétique des espèces augmente en fonction de la température. Rahn [5] a compté 335 espèces de reptiles dans la zone tempérée et 2785 dans les tropiques; une proportion semblable, 948 et 2076, a été trouvée chez les mammifères. On pourrait supposer que la différence vient surtout de la luxuriance de la végétation dans les régions tropicales, mais l'exemple de la mer est en contradiction. En effet, la vie y est très abondante dans les zones froides, sans doute à cause de la concentration et de la disponibilité plus grandes des composés nitrogénés. Les diatomées en bénéficient directement, et par leur intermédiaire, de nombreuses espèces carnivores et herbivores. En dépit de cette abondance alimentaire, la faune y est très inférieure en nombre à celle des eaux tropicales. Des 300 espèces connues de copépodes, 80% viennent des mers chaudes et 5% seulement des mers nordiques froides.

Les animaux à sang froid et à sang chaud ont des problèmes différents à résoudre dans l'adaptation à des climats divers. Pour ces derniers, il s'agit de maintenir une température interne constante, tandis que chez les premiers les fonctions vitales doivent s'adapter à la température environnante. Peu de vertébrés à sang froid se rencontrent de l'Arctique aux tropiques, mais beaucoup d'entre eux sont répandus dans des régions de température très variées. Chez plusieurs espèces de la grenouille, *Rana*, l'adaptation au froid se traduit par une tolérance plus grande des basses températures par l'embryon ainsi qu'une croissance et un métabolisme plus rapides chez l'animal pour compenser l'influence retardatrice du froid [4]. On ignore presque tout de l'adaptation physiologique des invertébrés à la vie des régions arctiques, mais elle est sans doute comparable à celle des grenouilles. La faune remarquable d'insectes et de vers de terre qui vivent dans les champs de neige polaires est caractérisée surtout par son uniformité de couleur. Presque tous ces êtres sont noirs ou très sombres, afin d'absorber le maximum de chaleur du soleil. Un mécanisme inconnu de leur physiologie ou de leur comportement, empêche peut-être la perte rapide de chaleur qui serait causée également par la couleur

sombre. Les habitants à sang chaud de ces régions, par contre, ont tendance à être blancs, du moins en hiver. Mais il s'agit là d'un camouflage naturel plutôt qu'une preuve d'adaptation pour éviter la perte de chaleur du corps. On note aussi parmi les mesures de précaution contre le froid l'épaisseur accrue de la fourrure chez les mammifères, du duvet chez les oiseaux et la présence de couches de graisse isolantes chez les baleines et les phoques. Dans les régions chaudes, on remarque une augmentation fréquente et locale de la complexité des vaisseaux sanguins superficiels pour favoriser le refroidissement. Le mode de vie même s'est transformé pour conserver la chaleur dans l'Arctique et pour la disperser dans les tropiques. Beaucoup d'animaux des pays chauds passent la plupart du temps à l'ombre ou sont nocturnes (comme la majorité dans les déserts), tandis que ceux des pays froids sont diurnes.

Certaines espèces se rencontrent dans presque toutes les parties du monde, de la température du pôle à celle des sources chaudes, mais d'autres ont un domaine beaucoup plus limité. Le corbeau *Corvus corax*, par exemple, se trouve du Groenland au Sahara; le puma, *Felis concolor*, de la Patagonie au Canada et le crapaud commun, *Bufo vulgaris*, de la Norvège au Maroc, mais les coraux vivants ne se trouvent que dans les mers chaudes à 23° C environ et le crustacé *Thermosbaena mirabilis* demande une température de 48° qu'il ne trouve que dans les sources chaudes d'Afrique (figure 1).

Chez les espèces répandues du nord au sud, on remarque certaines mesures générales d'adaptation au froid et à la chaleur; cette évolution parallèle causée par l'environnement a été résolue par les biologistes en plusieurs règles ayant des applications plus ou moins vastes [6]. Il est, en effet, assez souvent difficile de distinguer entre des phénomènes d'adaptation directe à la température et d'adaptation à des conditions elles-mêmes dépendant de la température comme, par exemple, la relation entre la température de l'eau et la taille des prolongements du corps chez les invertébrés du plankton. Ces animalcules se sont munis d'épines, de flotteurs et autres appendices pour accroître leur résistance à la friction de l'eau et contrecarrer ainsi au maximum la force de gravité (figure 4). Dans les mers froides, ces prolongements sont beaucoup moins accentués que dans les eaux tropicales, sans doute à cause de la densité différente de l'eau, elle-même une conséquence de la température.

Les variations de taille du corps à l'intérieur de l'espèce chez les vertébrés à sang chaud répandus dans des climats divers semblent résulter directement de la température de l'habitat. Selon la règle de Bergmann, la grande taille chez ces animaux est en relation directe avec le froid du climat. Le volume du corps dépend du cube de la taille, la surface dépend du carré de celle-ci, donc, plus le corps est grand, relativement moindre est la surface de peau permettant la perte de chaleur et plus important est le volume disponible pour les réactions vitales. Les mammifères de petite taille comme la souris courent constamment le danger du refroidissement et, pour compenser leur trop grande surface de rayonnement, doivent absorber en une journée une quantité de nourriture bien supérieure à leur propre poids. Le cacatoès, *Cacatua galerita triton*, qui vit dans l'Archipel malais, montre des variations de taille caractéristiques. Les individus habitant de petites îles basses dans la mer tropicale sont presque tous de taille réduite, mais ceux qui habitent de grandes îles ou des montagnes sont beaucoup plus gros [3]. De même, les corbeaux varient de taille selon leur habitat, les plus gros étant trouvés au Groenland.

La seconde règle, qui s'applique également aux vertébrés à sang chaud, est due à Allen, à savoir: les parties proéminentes du corps sont relativement moins dévelopées dans les régions froides de l'habitat d'une espèce. Là encore, il paraît s'agir d'une adaptation pour empêcher la perte excessive de chaleur. Les corbeaux du nord ont, en effet, le bec plus court que ceux des déserts chauds.

Finalement, la règle de Gloger concerne l'accroissement de la présence des mélanines avec la chaleur et l'humidité du climat. Les mélanines rougeâtres dominent dans les régions arides, tandis que les noirâtres y sont réduites comme dans les zones très froides. On s'attend donc à ce que les membres d'une espèce varient des tropiques à l'Arctique, du jaune ou du rouge au blanc en passant par le noir. Les coloris de plusieurs espèces d'oiseaux et de groupes d'insectes se sont trouvés en accord avec la règle. Dobzhansky [1] a constaté que la couleur des élytres de certaines espèces de coccinelles changeait avec la température normale de l'habitat. Ainsi, les variantes pâles de chaque espèce (rouge ou jaune, avec ou sans quelques points noirs) prédominent dans deux zones principales: le désert aride et chaud du Turkestan et de l'Iran et la région presque aussi chaude et desséchée qui englobe la Californie, l'Arizona et le Mexique. A mesure que l'on s'éloignait de ces deux centres et que la température tombait, on trouvait de plus en plus d'individus

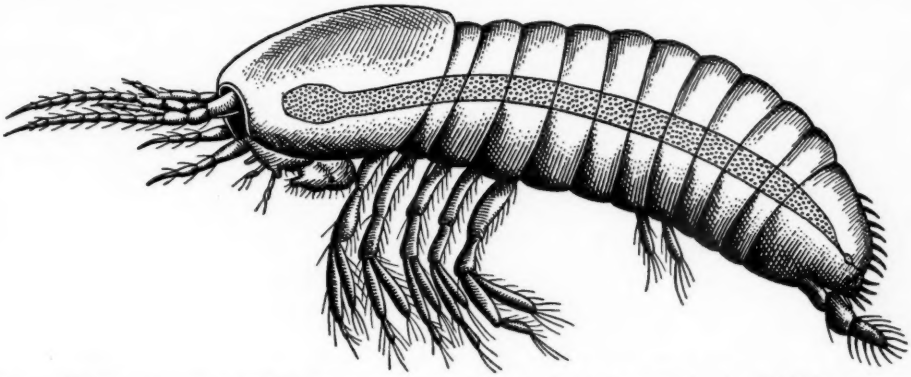


FIGURE 1 – Thermosbaena mirabilis *ne se rencontre que dans certaines sources chaudes d'Afrique d'une température de* 48° *C.* (× 36)

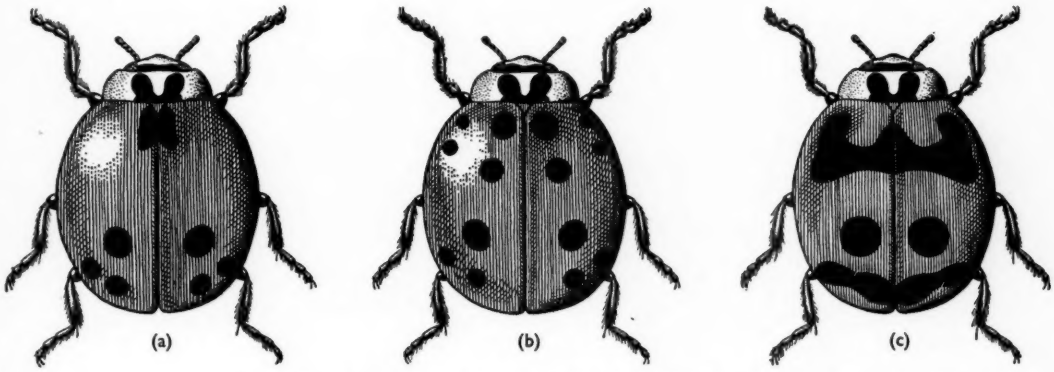


FIGURE 2 – Adonia variegata. (a) *forme claire,* (b) *forme typique,* (c) *forme foncée.* (× 8)

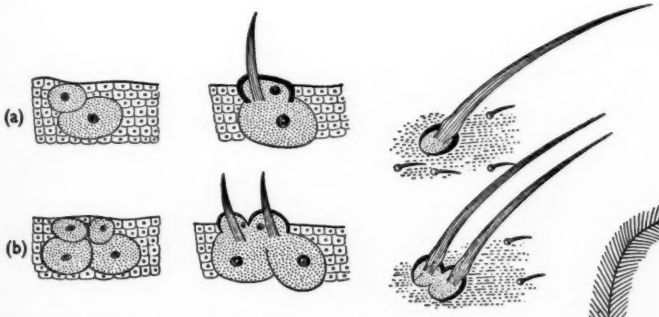


FIGURE 3 (*en haut*) – *Développement des poils thoraciques chez* Drosophila melanogaster; (a) *chez une mouche sauvage,* (b) *chez une mouche portant des gènes «dédoublés».*

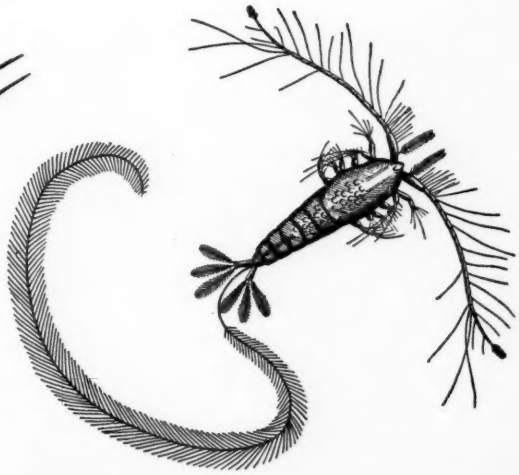


FIGURE 4 (*à droite*) – Calocalanus plumulosus *méditerranéen pourvu des appendices qui caractérisent les habitants des mers chaudes.* (× c. 15)

tachetés de noir et la proportion des taches augmentait. En Iran, 8% des coccinelles *Adonia variegata* ont le coloris d'élytre typique (figure 2*b*), 1% sont plus foncées et le reste ont des taches noires petites et assez espacées (figure 2*a*). En Sibérie, la différence est très marquée, les formes claires étant absentes et les individus typiques ne formant pas plus de 18% de la population. La proportion restante a des taches sombres fusionnées (figure 2*c*). Le coloris est héréditaire et, semble-t-il, déterminé par quelques gènes seulement.

L'avantage relatif apporté par la couleur du corps dans les pays chauds dépend dans une grande mesure du mode de vie de l'animal et de la catégorie à laquelle il appartient: à sang froid ou chaud. Ceux qui vivent surtout en plein air ou au soleil absorbent toute la chaleur disponible dans la zone froide s'ils sont de couleur sombre comme les coccinelles. Ceux qui préfèrent l'ombre sont mieux adaptés aux régions chaudes de leur habitat s'ils sont foncés et perdent ainsi plus rapidement l'excès de chaleur. Comme très souvent en biologie, il est nettement impossible de distinguer ici la cause et l'effet. Des changements saisonniers dans la proportion des formes claires et sombres chez une même espèce se rencontrent aussi chez les coccinelles et il s'agit là peut-être également d'une adaptation au changement de température combinée au changement de mode de vie. On ne sait pas encore avec certitude si la température influence directement la manifestation des gènes qui déterminent le coloris. Elle peut avoir un effet prononcé sur la manifestation de certains gènes, comme il a été prouvé chez la crevette d'eau douce, *Gammarus chevreuxi*. En effet, Ford et Huxley [2] ont montré que l'œil noir commun et l'œil rouge inhabituel dépendent d'une paire allélomorphique de gènes, celui à œil noir ayant prépondérance. Si des individus porteurs de gènes à œil rouge étaient soumis peu après leur naissance à une température élevée, 28° C, les yeux devenaient noirs en 20 jours, tandis qu'à 13° C une très petite quantité de mélanine noire seulement se déposait et les yeux restaient rouges. Inversement, des jeunes porteurs de gènes à œil noir élevés à 10° C sortaient de la poche d'incubation avec les yeux rouges qui s'assombrissaient lentement par la suite. La présence d'un gène à œil noir a donc un effet comparable à celui d'une température assez élevée: augmenter la rapidité d'une réaction chimique.

L'expression de certains gènes est ainsi influençable par la température et, dans un petit nombre de cas au moins, le génotype semble réagir en s'adaptant à l'environnement; le froid encourage la poussée des poils chez les mammifères et une température basse et humide pendant sa vie de chrysalide donne à la coccinelle des élytres plus sombres. Mais les caractères définitifs des populations animales naturelles sont sous le contrôle direct des gènes et peuvent se manifester sans la stimulation externe de la température. Cette dernière choisit seulement le génotype donnant la meilleure adaptation phénotypique.

D'autres effets directs de la température sur l'expression des gènes ont été découverts expérimentalement. Si l'on soumet des larves ou des chrysalides d'insectes pendant une courte période à des températures différant de celles auxquelles elles sont normalement habituées, elles dévient souvent du phénotype normal. Dans le développement de la chrysalide de *Drosophila melanogaster* vient un moment où certaines cellules destinées à former les poils thoraciques se divisent, en sorte que, pour chaque poil, une seule cellule donne la tige et une autre la racine. Or, il existe une forme mutante ou «dédoublée» qui fait se diviser deux fois la cellule-poil, produisant ainsi deux tiges et deux racines là où il n'y a normalement qu'une de chaque (figure 3). Une température-choc de 40° administrée vers la fin de l'état larvaire ou au début de la vie chrysalidienne pendant une heure cause un nombre considérable de poils dédoublés phénotypiquement semblables. C'est comme si un gène mutant ou un agent externe non-spécifique pouvait changer la direction du développement lorsqu'un choix existe. Les changements produits de cette façon sont des changements du phénotype et ne sont pas habituellement héréditaires. On ignore s'ils ont une influence quelconque sur l'évolution de l'animal, malgré la suggestion de Waddington [8] qu'un gène pourrait à la longue remplacer ici la température. Il est possible que le milieu aide le développement à prendre cette direction afin d'utiliser avantageusement la mutation dès qu'elle se produit. Mais il se peut aussi que ces phénomènes soient plutôt un signe de la sensibilité de l'organisme aux changements de température. Un organisme bien adapté et dont l'habitat naturel est de température assez uniforme est naturellement plus susceptible d'être gêné dans son développement par un froid ou une chaleur intenses inattendus qu'un autre habitué à une température variable. Il existe plusieurs races de *Drosophila funebris* géographiquement différenciées par leur résistance respective à la température. Les variétés d'Europe occidentale sont

beaucoup plus sensibles que celles de Russie, par exemple [7].

On a remarqué que les extrêmes de température rendent un certain nombre d'organismes polyploïdes. Le triton, *Triturus viridescens*, devient polyploïde si la température tombe entre 1,5° et 6° C. Les triploïdes résultants représentent presque certainement une impasse au point de vue évolution. Chez les plantes, par ailleurs, la polyploïdie s'est révélée d'importance considérable. On sait, en effet, avec quasi certitude que les espèces polyploïdes sont plus résistantes au froid que leurs parentes diploïdes. Il y a beaucoup d'autotétraploïdes dans les régions arctiques et montagneuses, presque toutes les herbes du Spitzberg étant polyploïdes. Il ne s'agit pas forcément là d'une réaction directe à l'environnement, mais plutôt d'une transformation lente s'étant produite à l'époque glaciaire au cours de l'abaissement de la température. L'importance de la polyploïdie en ce qui concerne l'évolution des animaux hermaphrodites n'est toujours pas résolue.

En dernier lieu, la température influence la vitesse de mutation des gènes: aux fortes températures augmente la vitesse de mutation. Nous retrouvons là sans doute l'accroissement général de vitesse causé par la chaleur dans les réactions chimiques, car une augmentation de 10° C triple environ la vitesse de mutation. On s'attend donc à un rythme de mutation assez élevé dans les régions tropicales, sauf là où la sélection l'a spécifiquement ralenti.

Les différences de température dans le monde sont une des causes latentes de diversité dans le règne animal et végétal. Une température uniforme au point de vue géographique et saisonnier aurait créé une flore et une faune beaucoup plus uniformes que celles d'aujourd'hui. La température agit aussi comme un puissant agent de sélection sur diverses populations animales. Elle intervient directement en empêchant les individus incapables de survivre à une température donnée, de se reproduire et de laisser des descendants. Son action se fait également sentir plus ou moins directement sur l'expression phénotypique de certains gènes. La sélection opère indirectement par l'influence directe qu'a la température sur la végétation et, par là, sur les ressources en nourriture végétale. Toutes autres conditions étant les mêmes, les températures élevées favorisent une évolution rapide par l'accroissement du nombre de générations et de la vitesse de mutation. Il suffit de comparer le nombre des espèces dans les tropiques et dans les autres parties du monde pour constater que les premiers sont le siège de l'évolution animale la plus rapide.

BIBLIOGRAPHIE

[1] Dobzhansky, T. *Amer. Nat.*, **67**, 97, 1933.
[2] Ford, E. B. et Huxley, J. S. *Arch. Entw Mech. Org.*, **117**, 67, 1929.
[3] Mayr, E. «Systematics and the Origin of Species». New York, 1942.
[4] Moore, J. A. *Biol. Symp.*, **6**, 189, 1942.
[5] Rahn, O. *Amer. Nat.*, **73**, 26, 1939.
[6] Rensch, B. *Arch. Naturgesch.*, **7**, 364, 1938.
[7] Timofeeff-Ressovsky, N. W. *Ibid.*, **4**, 245, 1935.
[8] Waddington, C. H. *Nature, Lond.*, **150**, 563, 1942.

Revue des livres

AGRICULTURE

Ordish, George: *Untaken Harvest*. Pp. 171. Constable and Company Limited, Londres. 1952. 15s.

Ce livre bien écrit révèle deux faits inquiétants. Premièrement, nos connaissances des insectes et des maladies affectant les récoltes sont insuffisantes; deuxièmement, les pertes qui leur sont dues s'élèvent à plus de soixante-dix millions de livres sterling par an. Après un court chapitre d'introduction, l'auteur étudie ces pertes sans essayer de masquer le manque d'informations exactes ou la difficulté d'interpréter les renseignements existants en termes de finance. Les chiffres qu'il donne, examinés critiquement et clairement exposés, constituent le meilleur apport fait jusqu'ici sur la question.

Il considère ensuite, dans la mesure permise par les connaissances disponibles, la relation entre la réduction de perte et le prix de divers traitements. Il en conclut qu'une documentation beaucoup plus précise sur l'incidence des maladies et des divers fléaux est nécessaire pour conseiller utilement sur les sommes à consacrer aux traitements. Le tableau qu'il offre des faits connus sera cependant très utile aux agriculteurs et producteurs. Même en tenant compte de l'inexactitude de la documentation, il réussit pleinement à justifier une extension des divers traitements: les pertes ne peuvent continuer à ce taux.

Un autre chapitre bien présenté rejette après examen l'opinion que les insectes et les maladies, en réduisant le rendement, prennent en réalité le parti du producteur.

Ce livre agréable sera aussi un utile ouvrage de référence qui rendra grand service à tous ceux qui s'intéressent aux problèmes vitaux de la production alimentaire, qu'ils soient agriculteurs, ingénieurs agronomes ou consommateurs — ceux qui savent bien que les denrées n'arrivent pas au magasin ou sur le pas de leur porte par miracle.

W. SLATER

BIOCHIMIE

Antibiotics: A Survey of their Properties and Uses. Pp. 274 + IX. The Pharmaceutical Press, Londres. 1952. 25s.

Ce volume très complet traite des antibiotiques courants surtout au point de vue du pharmacien. La part de chaque collaborateur diversement qualifié a été bien délimitée et les nombreux aspects de la question: chimie, manufacture, recherches expérimentales, utilisation clinique, médicale et vétérinaire et réglementation ont tous été étudiés.

Il arrive que dans les volumes de ce genre certains points sont dépassés avant même d'être publiés; ainsi la toxicité du chloroamphénicole est insuffisamment traitée si l'on tient compte des travaux récents.

Les pages consacrées au synergisme et à l'antagonisme font une brève revue d'une partie des recherches expérimentales faites à ce sujet. Peu de spécialistes accepteront l'opinion que les infections très répandues causées par *Candida albicans* chez les malades traités à la pénicilline sont entièrement dues à la suppression de la flore microbienne normale.

Dans l'ensemble, la section sur les travaux expérimentaux est moins uniformément excellente que le reste, mais cela n'enlève rien à la valeur du livre qui sera indispensable à beaucoup comme ouvrage à consulter. L'ampleur du sujet et la très bonne bibliographie font qu'il apportera quelque chose de nouveau à tous.

Signalons une faute d'impression qui pourrait induire en erreur les non-avertis: *Streptococcus pyogenes* au lieu de *Staphylococcus pyogenes* comme agent producteur de pénicillinase.

R. M. CALMAN

BIOGRAPHIE

LLOYD, Christopher: *Captain Cook.* Pp. 172, avec des illustrations en demi-teintes. Faber and Faber Limited, Londres. 1952. 10s. 6d.

Ces vingt dernières années ont produit une véritable floraison de biographies du Capitaine Cook et la nécessité d'une de plus est contestable. Mais, comme nous le rappelle M. Lloyd, aucune de ces vies n'est en vente à l'heure actuelle et une biographie s'adressant à ceux qui savent peu ou presque rien du sujet ne sera pas superflue. Un tel ouvrage devra exposer en détail l'objectif de chacun des trois voyages de Cook et la mesure de réussite de chacun. Ici, l'auteur a eu grand succès. Il s'est également bien acquitté de la difficile tâche de condenser en 172 pages les aspects essentiels de la vie de l'explorateur. Le livre est parfaitement adapté aux besoins de son genre de lecteurs.

On note quelques erreurs peu importantes, comme le nombre inexact de récits inautorisés du premier voyage et la date de la mort du Capitaine Gore. Il y en a malheureusement une autre plus grave: l'auteur ranime la déclaration erronée de Kippis qui lui valut la réprimande de Joseph Banks, selon laquelle l'Amérique aurait refusé d'accorder comme la France immunité de capture aux vaisseaux de Cook à leur troisième voyage. MAURICE HOLMES

MILNE, E. A.: *Sir James Jeans: A Biography.* Pp. XVI + 176. Cambridge University Press, Londres. 1952. 21s.

L'œuvre de Sir James Jeans fut de telle importance dans le développement de la pensée scientifique de son époque qu'il convient de publier cette biographie, œuvre du regretté E. A. Milne. Ce furent la théorie dynamique des gaz et la répartition de l'énergie qui l'attirèrent tout d'abord, et il couronna ses recherches par l'important *Report on Radiation and the Quantum Theory* (1914), qui aida considérablement à renforcer la théorie des quanta et celle de Bohr sur l'atome. Vint ensuite une période de grandes réalisations. Jeans se tourna vers les formes d'équilibre et la stabilité des masses fluides gravitantes en rotation, problème d'une complexité mathématique extrême. De là, il passa à la cosmogonie, rassemblant et résumant ses travaux en deux ouvrages: *Problems of Cosmogony and Stellar Dynamics* (1919) et *Astronomy and Cosmogony* (1928). Le premier est un des classiques de l'astronomie, comme l'auteur le décrit justement; le second, bien que conçu sur une échelle plus vaste, eut moins de succès et sera dépassé plus vite.

A partir de 1928, Jeans abandonna ses premières recherches et s'occupa d'écrire une série d'œuvres de vulgarisation astronomique, physique et même philosophique sur la signification des nouveaux progrès de la pensée scientifique. M. S. C. Roberts, de Cambridge University Press, rappelle dans un mémoire qui fait préface à la biographie, comment Jeans entreprit cette tâche à sa suggestion et trace un délicieux portrait du savant en tant qu'homme.

Selon l'auteur, Jeans n'écrivit jamais une page de mathématiques sans intérêt. Ses écrits scientifiques sont caractérisés par un charme et une beauté de style toute naturelle. Ce sont ces qualités, jointes à un don d'exposition claire, de choix des comparaisons et à l'ampleur du savoir, qui expliquent l'extraordinaire succès de ses livres pour le profane. L'éveil de l'intérêt général pour les problèmes fondamentaux de la science n'est pas un des moindres accomplissements de Jeans.

H. SPENCER JONES

BIOLOGIE

VOUK, Vale: *Grundriss zu einer Balneobiologie der Thermen.* Pp. 88. Birkhäuser, Bâle. 1950. 14,55 francs suisses.

La balnéobiologie est l'étude biologique des sources chaudes par rapport à leur usage thérapeutique. Ce livre est le premier sur le sujet et, bien qu'il ne s'occupe pas de l'effet des eaux thermales sur le corps humain, il couvre un champ étendu et renferme de nombreux détails intéressants.

La vie animale et végétale naturelle des sources chaudes est en grande partie détruite quand on les recouvre artificiellement pour les utiliser en thérapeutique. Dans son propre pays, la Yougoslavie, l'auteur a eu cependant l'occasion d'étudier souvent sur place les groupements biologiques de ces sources. Il les divise en plusieurs groupes d'après leur température et leur végétation et fait remarquer que la première est presque constante. Les eaux les plus chaudes sont, jusqu'à 85° C, habitées d'algues d'un vert-bleu dont la plus caractéristique est *Mastigocladus laminosus*; on y trouve aussi des organismes thermophiles spéciaux au soufre et au fer. Aux températures inférieures, les algues sont différentes.

L'état actuel de la balnéobiologie est caractérisé par la presque complète absence de travaux sur les organismes vivants des eaux thermales, en dépit de leur aspect captivant et très important

tant au point de vue général que pratique. L'auteur propose une théorie de l'effet thérapeutique de ces eaux basée sur la constatation que de l'eau autoclavée a le même effet que de l'eau thermale sur de jeunes plantes.

E. G. PRINGSHEIM

BOTANIQUE

MOLDENKE, H. N. et A. L.: *Plants of the Bible*. Pp. xx + 364, avec 95 illustrations. Chronica Botanica Company, Waltham, Massachusetts; William Dawson and Sons Limited, Londres. 1952. $7,50.

L'œuvre du Dr. et de Mrs. Moldenke demandait de l'érudition au sens étroit du mot ainsi qu'un jugement critique capable de trier la copieuse littérature correspondante. Disons tout de suite que ce livre fournira pendant de longues années toute la documentation importante — et beaucoup de détails — sur les plantes bibliques que les botanistes, théologiens et lecteurs en général pourront rechercher.

Au début de chaque section sont cités les textes mentionnant les plantes en question, suivis de notes botaniques, historiques et autres. On compte aussi de nombreuses illustrations, dont beaucoup sont en demi-teintes, ainsi qu'un index général et un index de versets bibliques. Le style est attachant et le livre, une fois commencé, retiendra jusqu'au bout probablement. C'est dans l'ensemble une œuvre sûre et utile dont nous félicitons les auteurs. La seule critique que l'on puisse faire est qu'ils ont été trop soucieux de ne rien omettre. Par exemple, à l'occasion d'un verset de Josué disant que «notre pain . . . est moisi», on trouve une allusion à *Mucor mucedo* dont l'effet est gâché quand on apprend par la suite que le mot traduit par moisi signifie peut-être friable.

E. J. HOLMYARD

CHIMIE

COULSON, C. A.: *Valence*. Pp. x + 338. Oxford University Press, Londres. 1952. 25s.

Ce livre a pour but de décrire les éclaircissements apportés par la mécanique ondulatoire à la notion de valence. Il ne présuppose pas une connaissance antérieure de ce sujet, mais un grand nombre de points techniques sont expliqués puis utilisés, sans toutefois essayer de donner une idée complète de la théorie des quanta. Le lecteur n'obtiendra donc qu'une vision limitée de la question, mais dans les limites qu'il s'est fixées le Professeur Coulson a réalisé son but avec plein succès.

Le texte a plusieurs qualités spéciales. Il est écrit dans un style clair et attachant et n'insiste pas sur l'une des théories de la valence — lien ou orbite moléculaire — aux dépens de l'autre, comme il arrive si souvent. Les détails sont à jour et l'attitude plus critique que dans les ouvrages antérieurs sur la question. L'auteur n'hésite pas à admettre les sérieuses suppositions que la théorie doit souvent faire. Le lecteur n'a d'ailleurs pas le temps d'être découragé par cette admission car on lui montre qu'il est fréquemment possible d'estimer l'ampleur des erreurs ainsi introduites.

WALTER KAUZMANN

CRISTALLOGRAPHIE

HENRY, N. F. M. et LONSDALE, K., publié sous la direction de: *International Tables for X-ray Crystallography*, Volume I, Symmetry Groups. Pp. xii + 558, avec 237 figures et un glossaire en cinq langues. Edité pour l'Union Internationale de Cristallographie par The Kynoch Press, Birmingham, Angleterre. 1952. £5 5s.

Les radiographes de cristaux seront extrêmement reconnaissants de ce nouveau volume qui remplace les Tables Internationales de détermination des structures cristallines parues en 1935. Beaucoup de choses sont les mêmes, mais c'est une œuvre différente, conçue dans le but d'aider non seulement les spécialistes de la détermination des structures cristallines, mais aussi l'étudiant et tous ceux qui s'occupent de radiographie des cristaux. C'est pourquoi le titre et le contenu du livre ont changé.

Ce premier volume traite des structures fenestrées, des groupes de pointe et des groupes d'espacement et, outre les tables principales, s'arrête à de nombreux aspects de la détermination de la symétrie. On sait que pour être correctement utilisés, les diagrammes de groupes d'espacement et ce qui les accompagne doivent être de grande taille. Les facteurs de structure géométrique et les fonctions de densité électronique sont donc présentés séparément et pour les descriptions de principaux groupes d'espacement, les compilateurs ont essayé de s'en tenir à un groupe par page. Dans les rares cas où cela ne leur a pas été possible à cause de longues listes de positions équivalentes, le diagramme et la table qui s'y rapporte, à part quelques exceptions sans importance, sont disposés sur deux pages se faisant face. On remarque une certaine indécision à ce sujet à la page 250 où l'on trouve ensemble $P3_1$ et $P3_2$ qui, étant énantiomorphes, auraient pu se faire face. C'est peut-être la cause du manque de place à la page 253, mais les éditeurs faisant une rapide volte-face pour éviter d'avoir à tourner la page, continuèrent au bas de la page précédente. Un peu plus loin on se rend compte que cela permet aux groupes suivants d'énantiomorphes et autres structures allant par paire de se faire face à nouveau. De même, l'ordre des en-têtes aux pages de droite et de gauche a été renversé, de sorte que le symbole du groupe de droite ne soit pas caché par le creux de la page. La disposition alternée des groupes d'espacement monocliniques avec l'unique axe *z* est aussi une innovation heureuse. Les diagrammes peu usités des groupes d'espacement cubiques ont été supprimés.

Ces Tables Internationales sont en anglais, mais il y a un court glossaire donnant les équivalents français, allemands, russes et espagnols. Les termes cités appartiennent au vocabulaire cristallographique uniquement et, à part un mot ou deux, figurent tous dans ce premier volume. Les volumes II et III auront leur glossaire séparé.

Félicitons la Kynoch Press sur l'élégante présentation.

H. M. POWELL

LITTÉRATURE

LEVY, HYMAN et SPALDING, HELEN: *Literature for an Age of Science*. Pp. 247. Methuen and Company Limited, Londres. 1952. 15s.

Il ne faut pas s'attendre ici à une étude de l'influence exercée par la tournure scientifique de l'époque sur la littérature courante; n'en blâmons pas les auteurs qui ont assez bien indiqué le thème général du livre dans le titre. Ils estiment qu'à une période où la société est si nettement mal adaptée au progrès scientifique et technique, la littérature pourrait et devrait contribuer davantage à établir «une harmonie plus grande entre les réalisations de la science et la vie émotive de l'homme». Leur avis est que la grande littérature du passé a toujours été trop individualiste et bourgeoise et qu'elle a failli à la tâche d'éveiller la conscience sociale et d'aider à l'union de toutes les classes de la société. Shakespeare

même n'a pas rendu justice au peuple dont il a exploité les ressources comiques. Bernard Shaw connaissait bien les fautes sociales de son époque, mais de façon plus intellectuelle qu'affective et Galsworthy, malgré l'intérêt qu'il portait aux injustices sociales, dans ses romans «joue au plus sûr . . . en faisant appel aux sympathies libérales de ses lecteurs sans les blesser». La littérature récente a non seulement failli à son rôle véritable, mais a contribué à accélérer la décadence actuelle.

Le livre, que les auteurs classent comme critique littéraire, est fortement analytique et demande un effort de concentration. La plupart des lecteurs préféreront sans doute les chapitres sur la poésie, le roman et le théâtre, bien qu'on y déplore une certaine lourdeur. Ce défaut de style est encore aggravé par l'emploi fréquent d'expressions telles que «canalisé par les forces sociales», «la totalité poétique du désillusionnement amoureux», «dans la sommation actuelle» et ainsi de suite. On trouve une allusion inattendue à l'emploi par Shakespeare du langage des cafés élisabethains.

L'ouvrage est stimulant en dépit de sa lourdeur et présente un point de vue qui ne peut être ignoré.

J. K. ROBERTSON

MÉCANIQUE

PERUCCA, Eligio, publié sous la direction de: *Dizionario d'Ingegneria*, Vol I, A–CER, pp. XII + 1052, avec 2200 figures; Vol. II, CER–FOR, pp. VIII + 1087, avec 2200 figures et un tableau en couleurs. Unione Tipografico-Editrice Torinese, Turin. 1952. 12.000 lires par volume.

Les savants et les ingénieurs qui ont à lire des textes techniques étrangers savent bien que même les meilleurs dictionnaires techniques sont insuffisants et qu'il est plus sûr de consulter une encyclopédie technique dans la langue étrangère en cause.

Ce livre sera donc utile même hors d'Italie, car il contient tous les renseignements dont un ingénieur peut avoir besoin, expliqués en termes assez simples. C'est un bel ouvrage réalisé avec soin et application, qui est tout à l'honneur de l'auteur et de l'éditeur.

Les questions importantes sont divisées en paragraphes numérotés en chiffres romains pour indiquer les diverses sections de la science et en chiffres arabes pour ce qui n'a rapport qu'à une seule section. Par exemple, «antenna» est divisé en trois parties: I Génie civil, II Génie maritime, III Electrotechnique. La troisième est subdivisée en III = 0 Généralités; III = 1 Antenne linéaire; III = 2 Distribution du courant le long de l'antenne; III = 3 Diagramme polaire et ainsi de suite. Chaque paragraphe est encore subdivisé, comme III = 2—0 Distribution du courant; III = 2—1 Déviations de la forme sinusoïdale. On a ainsi une sorte d'index des points étudiés qui facilite les renvois.

Le niveau est élevé, comme on s'y attend d'après la liste impressionnante de collaborateurs et le texte semble être généralement à jour. Les diagrammes et les figures sont clairs. On pourrait discuter le choix des questions et l'importance relative accordée aux divers en-têtes. On note les quelques inévitables répétitions et omissions, e.g. les diodes modernes à cristal ne sont mentionnées ni sous «cristallo» ni sous «diodo». Il y a quelques erreurs, comme l'indication en coulombs dix fois trop faible des charges électroniques.

Malgré ces imperfections et le prix relativement élevé, c'est une œuvre qui a sa place dans toute bibliothèque technique.

L. PINCHERLE

MINÉRALOGIE

BÖRNER, Rudolf: *Welcher Stein ist das?* Pp. 165, avec des planches en couleurs. Kosmos Gesellschaft der Naturfreunde Frankh'sche Verlagshandlung, Stuttgart. 1952. 5,80 marks.

Ce petit volume fait partie de l'excellente série d'histoire naturelle publiée par la compagnie Kosmos. Il rendra grand service aux géologues, aux minéralogistes et surtout aux étudiants, car il présente une documentation considérable sous une forme très accessible. Plus de 500 minéraux sont traités, dont 280 pierres précieuses. Les 14 planches en couleurs illustrant 160 minéraux, roches et gemmes forment un aspect important du livre. On compte aussi 7 illustrations dans le texte et 16 tableaux, dont certains sont très développés.

Après une bonne mais rapide introduction, l'auteur étudie les systèmes cristallins, avec des exemples de modifications; les 64 pages suivantes sont consacrées a une description en forme de tableau des minéraux classés en premier lieu d'après leur couleur et avec des précisions sur leur striure, densité, fracture, clivage, fréquence et associés naturels. Une table supplémentaire où ils sont classés d'après la couleur des stries produites sur la porcelaine, donne la formule et la dureté de chacun.

On trouve une introduction sur les pierres précieuses en général avec des détails sur les tests de dureté et un utile tableau des duretés comparées par rapport à diverses échelles. Les différents minéraux utilisés pour les indices de dureté sont énumérés et l'échelle de Mohs sur la même question est étudiée en détail. Après des notes et des tableaux sur les propriétés optiques, avec insistance sur le dichroïsme appliqué aux pierres précieuses, vient une table sur le pouvoir de dispersion de certaines variétés de minéraux.

On note une brève mais captivante section sur la constitution du globe avec des illustrations et des tableaux donnant en détail la composition de divers minéraux formateurs de roches. La dernière section traite des propriétés des roches utilisées dans la construction et l'industrie. Un bon index complète ce très utile volume.

ARTHUR MARSDEN

SHAND, S. J.: *Rocks for Chemists*. Pp. XII + 146, avec des figures et des illustrations en demi-teintes. Thomas Murby and Company, Londres. 1952. 21s.

La pétrologie est une question difficile à présenter au profane, mais M. Shand a fait ici une tentative digne d'éloges. Après une courte introduction historique, il initie le lecteur aux rocs des champs, aux minéraux formateurs de roches, à la nature de la lave active et de la lave souterraine, à la classification des roches éruptives et à leurs types principaux. Viennent ensuite un court chapitre sur les roches sédimentaires et deux autres sur les roches métamorphiques. On trouve aussi une liste d'ouvrages à consulter et une série de trente-deux planches photographiques illustrant les rocs des champs et leur aspect au microscope.

Le livre s'adresse en premier lieu aux chimistes et aux étudiants de chimie vu les vastes possibilités de recherche que leur offre la pétrologie, comme l'indique M. Shand dans la préface. Le style est clair et concis, mais le texte, quoique attrayant, n'est pas au-dessus de toute critique. Le chapitre sur les minéraux formateurs de roches gagnerait à être plus détaillé en ce qui concerne la structure cristalline des corps intéressés et il est inexact de dire (p. 15) que le fer ferrique peut remplacer le silicium dans l'hornblende. Dans un

ouvrage s'adressant aux chimistes on s'attendrait à ce que les diagrammes de systèmes à trois composantes soient détaillés et montrent leurs isothermes. Omission regrettable, ni la règle des phases minéralogique ni le concept de facies en métamorphisme ne sont cités. Les travaux des géochimistes auraient dû recevoir plus d'attention dans une œuvre de ce genre. S. R. NOCKOLDS

PHOTOGRAPHIE

DUNN, J. F.: *Exposure Meters and Practical Exposure Control*. Pp. 252, avec des illustrations en couleurs, en demi-teintes et des figures. The Fountain Press, Londres. 1952. 35s.

Ce volume expose les principes fondamentaux de l'estimation du temps de pose photographique.

Depuis sa mise en vente, de nombreux photographes ont fait l'achat d'un photomètre électrique intégrant sans se rendre compte que cet intrument demande presque autant de discernement dans son emploi qu'une table de temps de pose ou un calculateur. Bien plus, il ne donne aucun résultat aux éclairages faibles, c'est-à-dire quand on en a le plus besoin. Le nouveau type «incident» de photomètre, qui mesure l'intensité de la lumière tombant sur le sujet, est beaucoup plus exact en ce qui concerne sa spécialité: la photo en couleurs et l'inversion. Néanmoins, le seul appareil sur lequel on puisse compter pour déterminer le temps de pose est le photomètre ordinaire. L'auteur décrivit autrefois en collaboration avec G. S. Plant l'un des meilleurs photomètres qui soient. Il est donc très à même d'expliquer l'utilisation de cet instrument et ses principes. L'ouvrage combine judicieusement la pratique et la théorie. R. M. CALMAN

LINSSEN, E. F.: *Stereo Photography in Practice*. Pp. 326, avec des diagrammes linéaires. The Fountain Press, Londres. 1952. 42s.

Il existe relativement peu d'ouvrages sur la stéréophotographie et, pour ainsi dire, aucun de valeur de notre génération. Depuis le «Stereoscope» de Brewster (1856), sept livres seulement ont paru en anglais sur la question.

Le début de la popularité du stéréoscope date du milieu du siècle dernier; en 1856. Malheureusement, l'exploitation commerciale s'empara de la photographie à trois dimensions, produisant quantité de stéréodromes et autres appareils automatiques à sujets de goût douteux. Quelques photographes enthousiastes empêchèrent l'art stéréoscopique de s'éteindre complètement et ces dernières années, le nouvel appareil très simple et à lentilles jumelles de Thornton Pickard réveilla l'intérêt perdu dans une certaine mesure.

Ce retard est à regretter car la stéréophotographie a de nombreuses utilisations à part celle de montrer des images. M. Linssen les étudie presque toutes, tout en traitant à fond la théorie et la technique de production des stéréogrammes et le plan des stéréoscopes simples et photographiques. Il s'occupe aussi des films à trois dimensions, et le même chapitre s'arrête aussi à l'autostéréoscopie par le système à grille et à lentille qui ont des applications évidentes dans le domaine cinématographique et dans d'autres.

On comprend l'avertissement du début qu'il ne fallait pas s'attendre à un traité complet présentant toutes les branches de la stéréoscopie.

P. A. LE NEVE FOSTER

PHYSIQUE

HEISENBERG, Werner: *Philosophic Problems of Nuclear Science*: huit conférences traduites par F. C. Hayes. Pp. 126. Faber and Faber Limited, Londres. 1952. 16s.

Ce volume est fait de huit conférences données entre 1932 et 1948 à diverses sociétés savantes sur la signification philosophique et, dans une certaine mesure morale, de la physique quantique; en dépit du titre, elles ne sont pas exclusivement consacrées à la physique nucléaire.

Heisenberg fut un des principaux fondateurs de la théorie quantique et, à ce titre, nous lui devons déjà une respectueuse attention, mais outre ses dons habituels d'application des idées mathématiques aux faits physiques, il montre ici la sagesse et la profondeur de pensée d'un philosophe. La théorie des quanta est une découverte plutôt qu'une création et Heisenberg prend la peine de nous faire remarquer une vérité dont même certains spécialistes du sujet ne sont pas conscients: la théorie quantique, si étrange et si peu attirante au début, n'est pas l'invention gratuite de quelques habiles physiciens. Ce n'est qu'après avoir fait l'impossible pour trouver une solution raisonnable à des contradictions apparemment sans issue que les chercheurs furent heureux d'accepter les idées de Heisenberg et de De Broglie, leur résistance vaincue par des années de lutte avec des faits brutaux refusant de concorder avec les lois en vigueur. La physique a progressé en sacrifiant les anciennes notions d'espace, de temps et de matière qui semblaient immuables. Elle devra probablement sacrifier encore davantage avant que le mystère du noyau soit expliqué et, par là, la véritable relation de toutes ces nouvelles particules soi-disant fondamentales que l'on découvre à un rythme accéléré et qui se transmutent si curieusement entre elles.

Heisenberg pense que le déterminisme d'autrefois est fini à jamais et il présente des arguments convaincants contre la possibilité d'arriver à un ordre logique en supposant des lois déterministes cachées donnant plus ou moins l'illusion du hasard. Son exemple d'une particule α du radium diffractée par un cristal est particulièrement clair et frappant. En effet, si l'émission de cette particule se produit de façon déterminée, à un moment voulu et dans une direction voulue, elle doit frapper une partie déterminée du treillis cristallin et comment ceci peut-il servir alors de réseau? Mais l'auteur ne pense pas pour cela que la physique classique de Newton soit condamnée. Elle conserve une sorte de supériorité, car elle seule peut décrire le dispositif essentiel qui nous permet d'étudier les phénomènes, même atomiques, ou en d'autres termes, une «interprétation» du monde multidimensionnel abstrait de la mécanique ondulatoire en événements dans l'espace et le temps que nous connaissons, est nécessaire avant qu'ils puissent être étudiés.

Heisenberg est un atomiste intransigeant et il étudie ici l'éveil de la notion d'atome chez les Grecs et les modifications qu'elle a subies depuis, comment les qualités de couleur et de goût disparaissent de la matière considérée comme un amas d'atomes durs, lesquels retiennent leur taille et forme au début, puis comment ces propriétés disparaissent à leur tour, ou plutôt s'évanouissent et l'atome (ou l'électron) devient une entité sans parties, taille ou forme, comme l'on s'y attend logiquement. Il fait erreur en nous laissant supposer que pour les atomistes anciens il n'existait qu'une seule sorte d'atomes. Lucrèce, l'auteur le plus abondant bien que tardif, n'était pas de cet avis et attribuait des propriétés diverses à différents atomes. N'avança-t-il pas une espèce d'hypothèse de Prout sur les poids atomiques intégraux. Il n'alla

cependant pas jusqu'à supposer une particule fondamentale unique.

A propos de Pythagore, on regrette que l'auteur n'insiste pas davantage sur le pouvoir magique des nombres entiers. Il devient de plus en plus clair que les schémas qui seront probablement tout ce qui restera de la matière et de l'énergie quand ce chapitre de la physique sera terminé, sont caractérisés par des nombres entiers. Les conclusions philosophiques à longue portée que Pythagore tira de ses expériences sur les notes musicales de son instrument ne se trouvent point justifiées par les faits à sa disposition mais il est passionnant de le voir aboutir aux mêmes résultats en étudiant la forme la plus élémentaire de vibration stationnaire, auxquels nous conduit l'étude des états d'atomes en mécanique ondulatoire, mécanique où les mathématiques requises ne sont qu'une forme exaltée de celles qu'il faut pour expliquer les notes d'une lyre.

La dernière conférence discute les difficultés de la science et des savants dans un état nationaliste du point de vue d'un Allemand patriote après la perte de la guerre. Heisenberg s'adressait à une réunion d'étudiants et nous montre le mal qu'il avait eu personnellement à regarder la science comme internationale. Sa pensée profonde est qu'en dépit des grandes et difficiles responsabilités d'un savant dans la décision d'appliquer ses connaissances, la véritable utilité de la science pour l'humanité est de fournir un fond de vérité indépendant du pouvoir humain — «il y aura toujours un bien et un mal en science. C'est une puissance supérieure, non influencée par nos désirs, qui décide et juge en fin de compte». Le savoir est, après tout, plus important que le niveau de vie.

G. P. THOMSON

MURRAY, H. D., publié par: *Colour in Theory and Practice*. Pp. XIII + 360, avec des illustrations en couleur, en demi-teintes et des figures. Chapman and Hall Limited, Londres. 1952. 70s.

Cette œuvre de huit spécialistes, H. D. Murray compris, couvre avec succès dans l'ensemble le champ complet de la couleur: physique des radiations, sources et détecteurs de lumière, constitution chimique des teintures, appareil humain de la vision et ses réactions à la lumière et à la couleur chez les sujets normaux ou anormaux, points techniques de photométrie et colorimétrie et réaction involontaire à la couleur dans la vie de tous les jours. L'ouvrage sera utile à trois catégories de lecteurs: à l'étudiant de physique, chimie ou physiologie devant s'informer sur l'ensemble de la question, aux chercheurs spécialisés dans un seul aspect de la couleur mais s'intéressant forcément aux sujets voisins et finalement au technicien ayant à résoudre un problème de couleur pour lequel il doit acquérir rapidement un fond de connaissances spécialisées. Les chapitres ne sont pas tous également poussés — l'un est consacré à l'optique élémentaire, tandis qu'un autre introduit les concepts chimiques relativement avancés des orbites moléculaires, de l'hybridation et de la conjugaison. On note un certain chevauchement, surtout dans l'étude des idées trichromatiques et les diverses parties de l'ouvrage sont à peine reliées entre elles. Ces objections sont probablement sans importance dans un livre qui sera sans doute avant tout consulté. Plusieurs appendices sur la terminologie des couleurs, la colorimétrie et les propriétés des matières colorantes d'origine naturelle et synthétique ajoutent à sa valeur.

W. S. STILES

TAYLOR, J.: *Detonation in Condensed Explosives*. Pp. 196, avec des figures et des illustrations en demi-teintes. Oxford University Press, Londres. 1952. 25s.

Nous accueillons avec plaisir ce volume sur le mécanisme de détonation des explosifs condensés, car la plupart des questions qu'il traite étaient jusqu'ici difficilement accessibles, disséminées dans des articles de revue ou des rapports non classés du temps de guerre. La connaissance poussée de la dynamique et thermodynamique de la détonation dans les explosifs solides que nous possédons est due en grande partie à l'effort de guerre scientifique de la Grande-Bretagne et des Etats-Unis pendant les années 1939–45. Les obstacles furent nombreux pour adapter la théorie dynamique de la détonation dans les gaz, mise au point au début du siècle, à celle des explosifs condensés. L'histoire de ce développement et des nombreux progrès que firent suite à la guerre est clairement présentée sans digressions. Un grand nombre de résultats expérimentaux ayant trait aux explosifs industriels viennent des travaux personnels du Dr. Taylor et des membres de son entourage.

D'importants procédés expérimentaux sont traités dans le livre, mais l'objet principal de l'auteur est la théorie physique de la détonation. L'aspect thermo-chimique des produits de l'explosion est étudié à fond à l'aide de diverses équations d'état plausibles et les nombreuses tables, résultat de longs calculs, rendront grand service aux spécialistes de la question. Le livre intéressera aussi le non-spécialiste, car la théorie avec son solide fondement et ses mathématiques adroites n'a rien à envier à celle de l'état solide sous divers aspects.

L'ouvrage est bien illustré de diagrammes et de planches et fera un digne complément à cette utile série de monographies.

H. JONES

WEYL, Woldemar A.: *Coloured Glasses*. Pp. 541, avec des diagrammes linéaires. The Society of Glass Technology, Sheffield. 1951. 25s.

Le Professeur Weyl est un savant de grande distinction qui a consacré ces douze dernières années à des recherches sur la structure et la constitution du verre, s'intéressant particulièrement aux couleurs et à l'absorption de la lumière. Son livre est le premier sur cette question et présente non seulement le résultat de ses fructueux travaux mais, en les reliant, toutes les informations sur le sujet qui ont paru ces dernières années d'une source ou d'une autre.

Les verres colorés sont envisagés du point de vue physico-chimique et l'auteur a essayé, ce que ses prédécesseurs avaient rarement fait, d'apporter une explication fondamentale aux résultats et, en particulier, au changement de couleur du verre d'une coulée à une autre. C'est une étude brillante, d'un intérêt absorbant et de valeur permanente comme ouvrage de référence.

Le livre comble une lacune importante de la littérature chimique et, avec sa largeur de vue caractéristique, le Professeur Weyl affirme à juste titre que la chimie des verres offre une base sûre à celle des scories métallurgiques et des sels fondus.

L. M. ANGUS-BUTTERWORTH

Livres reçus

(*Note.* La mention à cette page n'exclut pas la possibilité de revue ultérieure.)

AGRICULTURE

FREAR, D. E. H. *Agricultural Chemistry* (Vol. II): *Practical Applications of Agricultural Chemistry*. Pp. 588. D. Van Nostrand Company Inc., New York; Macmillan and Company Limited, Londres. 1951. 71s.

SMITH, A. M. *Manures and Fertilizers*. Pp. 275. Thomas Nelson and Sons Limited, Londres. 1952. 15s.

ASTRONOMIE

BEET, E. AGAR. *The Sky and its Mysteries*. Pp. 238, avec des illustrations linéaires et en demi-teintes. G. Bell and Sons Limited, Londres. 1952. 15s.

GAMOW, GEORGE. *The Creation of the Universe*. Pp. 147, avec illustrations linéaires et en demi-teintes. The Viking Press, New York; Macmillan and Company Limited, Londres. 1952. 21s.

BIOCHIMIE

BACH, S. J. *The Metabolism of Protein Constituents in the Mammalian Body*. Pp. 272. Oxford University Press, Londres. 1952. 40s.

BELL, E. G. *Biochemical Preparations*. Pp. 109. John Wiley and Sons Inc., New York; Chapman and Hall Limited, Londres. 1952. 24s.

GOODWIN, T. W. *The Comparative Biochemistry of the Carotenoids*. Pp. 356. Chapman and Hall Limited, Londres. 1952. 50s.

BIOGRAPHIE

BAKER, JOHN R. *Abraham Trembley of Geneva, Scientist and Philosopher*, 1710–1784. Pp. 259, avec des illustrations linéaires et en demi-teintes. Edward Arnold and Company, Londres. 1952. 35s.

BIOLOGIE

BONNER, J. T. *Morphogenesis: An Essay on Development*. Pp. 296, avec des illustrations linéaires et en demi-teintes. Princeton University Press, Princeton, New Jersey; Oxford University Press, Londres. 1952. 32s.

PIVETEAU, J. Publié sous la direction de. *Traité de Paléontologie* (Vols. I et II). Pp. 782 et 790 respectivement, avec des illustrations linéaires et en demi-teintes. Masson et Cie., Paris. 1952. Volume I, broché, fr. 8300; cartonné, fr. 8900. Volume II, broché, fr. 9000; cartonné, fr. 9700.

BOTANIQUE

KÜSTER, ERNST. *Die Pflanzenzelle* (2e édition). Pp. 866, avec des illustrations linéaires et en demi-teintes. Gustav Fischer, Iéna. 1951. DM 54.

POPHAM, R. A. *Developmental Plant Anatomy*. Pp. 361, avec des illustrations linéaires et en demi-teintes. Long's College Book Company, Columbus, Ohio. 1952. $4,50.

CHIMIE

BOUNDY, R. H. et BOYER, R. F. *Styrene: Its Polymers, Copolymers and Derivatives*. Pp. 1304, avec des illustrations linéaires et en demi-teintes. Reinhold Publishing Corporation, New York; Chapman and Hall Limited, Londres. 1952. 160s.

D'ALELIO, G. F. *Fundamental Principles of Polymerization*. Pp. 517, avec plusieurs diagrammes linéaires. John Wiley and Sons Inc., New York; Chapman and Hall Limited, Londres. 1952. 80s.

FLETT, L. H. et GARDNER, W. H. *Maleic Anhydride Derivatives*. Pp. 269. John Wiley and Sons Inc., New York; Chapman and Hall Limited, Londres. 1952. 52s.

HOLMAN, R. T., LUNDBERG, W. O. et MALKIN, T., Rédacteurs. *Progress in the Chemistry of Fats and other Lipids*. Pp. 186, avec des illustrations linéaires et en demi-teintes. Pergamon Press Limited, Londres. 1952. 42s.

HURD, DALLAS T. *An Introduction to the Chemistry of the Hydrides*. Pp. 221. John Wiley and Sons Inc., New York; Chapman and Hall Limited, Londres. 1952. 44s.

MANDLEBERG, J. H. *Physical Chemistry Made Plain*. Pp. 287. Cleaver-Hume Press Limited, Londres. 1952. 15s.

RICCI, J. E. *Hydrogen Ion Concentration: New Concepts in a Systematic Treatment*. Pp. 460. Princeton University Press, Princeton; Oxford University Press, Londres. 1952. 63s.

VAIL, JAMES G. *Soluble Silicates: Their Properties and Uses*. Vol. I — Chimie. Pp. 357, avec plusieurs illustrations linéaires et en demi-teintes. Reinhold Publishing Corporation, New York; Chapman and Hall Limited, Londres. 1952. 72s.

GÉOLOGIE

TERMIER, HENRI et TERMIER, GENEVIÈVE. *Histoire Géologique de la Biosphère*. Pp. 721, avec plusieurs cartes et des illustrations linéaires et en demi-teintes. Masson et Cie., Paris. 1952. Broché, fr. 8600; relié, fr. 9200.

PHYSIQUE

BLATT, J. M. et WEISSKOPF, V. F. *Theoretical Nuclear Physics*. Pp. 864, avec des diagrammes linéaires. John Wiley and Sons Inc., New York; Chapman and Hall Limited, Londres. 1952. 100s.

BÖTTCHER, C. J. F. *Theory of Electric Polarization*. Pp. 492. Elsevier Publishing Company, Amsterdam; Cleaver-Hume Press Limited, Londres. 1952. 70s.

CALTHROP, J. E. *Advanced Experiments in Practical Physics* (2e édition). Pp. 142, avec des illustrations linéaires et en demi-teintes. William Heinemann Limited, Londres. 1952. 10s. 6d.

Harwell: The British Atomic Energy Research Establishment 1946–51. Pp. 128, avec des illustrations linéaires et en demi-teintes. Her Majesty's Stationery Office, Londres. 1952. 6s.

PEPINSKY, RAY, publié par. *Computing Methods and the Phase Problem in X-Ray Crystal Analysis*. Pp. 390, avec des illustrations linéaires et en demi-teintes. The Pennsylvania State College, Pa. 1952. $7,50.

ROCARD, Y. *Thermodynamique*. Pp. 551, avec de nombreux diagrammes linéaires. Masson et Cie., Paris. 1952. Broché, fr. 3650; cartonné, fr. 4150.

SHOENBERG, D. *Superconductivity*. Pp. 256, avec des diagrammes linéaires. Cambridge University Press, Londres. 1952. 30s.

SCIENCE GÉNÉRALE

CROIZAT, LEON. *Manual of Photogeography*. Pp. 587, avec de nombreuses cartes et des dessins linéaires. Dr. W. Junk, La Haye. 1952. 45 florins.

ZOOLOGIE

BURNS, MARCA. *The Genetics of the Dog*. Pp. 122, avec des illustrations en demi-teintes. Commonwealth Agricultural Bureaux, Slough, Bucks. 1952. 12s. 6d.

HARTMAN, CARL G. *Possums*. Pp. 174, avec diverses illustrations linéaires et en demi-teintes. University of Texas Press, Austin, Texas. 1952. $6.

Notes biographiques sur les collaborateurs

J. W. CORNFORTH

Naquit à Sydney, Australie en 1917 et étudia aux Universités de Sydney et d'Oxford. Est membre du personnel scientifique du *Medical Research Council* et a fait paraître des articles sur la chimie organique et ses applications aux questions biologiques.

E. N. DA C. ANDRADE

Est né à Londres en 1887 et a fait ses études aux Universités de Londres, Manchester et Heidelberg, ainsi qu'au laboratoire Cavendish à Cambridge. En 1928 il fut nommé à la chaire Quain de Physique à l'Université de Londres. De 1950 à 52 il fut Directeur de la *Royal Institution of Great Britain* et du Laboratoire de recherches Davy-Faraday. Il possède une collection bien connue de livres anciens sur les sciences exactes et est spécialiste de Newton et de ses contemporains.

W. O. JAMES

Né en 1900, étudia aux Universités de Reading et Cambridge. Est chargé de cours de physiologie végétale à la section de Botanique d'Oxford et directeur de *The New Phytologist*. A publié des travaux sur la nutrition et la respiration des plantes et sur le métabolisme des alcaloïdes des Solanacées.

MAX VACHON

Est né à Dijon en 1908 et étudia à la Faculté des Sciences de cette ville, puis à la Sorbonne où il obtint en 1938 son Doctorat-ès-Sciences de l'Etat. Il travaille depuis sous la direction de M. le Professeur L. Fage, Membre de l'Institut, étudiant une des riches collections zoologiques du Muséum National. Fut nommé en 1948 Maître de Recherches au Centre National de la Recherche Scientifique et membre du Comité National du C.N.R.S. dans la section de Zoologie et de Biologie animale.

A. KATCHALSKY

Né en 1913, est diplômé de l'Université Israélite de Jérusalem. Il a publié des articles sur la théorie générale des solutions polyélectrolytiques, le comportement physique des solutions et des colloïdes de cette catégorie et les systèmes mécano-chimiques. Il dirige actuellement la section des polymères à l'Institut scientifique Weizmann de Rehovoth et enseigne la chimie physique à l'Université Israélite.

A. G. MADDOCK

Est né en 1917 et a fait ses études au *Royal College of Science*. Il s'occupa pendant les deux premières années de la guerre de problèmes de défense chimique. Par la suite il entra aux *Imperial Chemical Industries*. Après avoir passé quatre ans au Canada, il revint occuper un poste provisoire au *Ministry of Supply* relatif à l'Etablissement de Recherches Atomiques. L'année suivante, il accepta un poste à l'Université de Cambridge.

WILMA GEORGE

Née en 1918. Après avoir étudié la zoologie à Lady Margaret Hall, Oxford, elle alla à Cambridge en 1941 et commença des recherches sur les réactions de la drosophile aux fortes températures. Est maintenant Maître de Conférences à son ancien collège d'Oxford et l'auteur de *Elementary Genetics*.